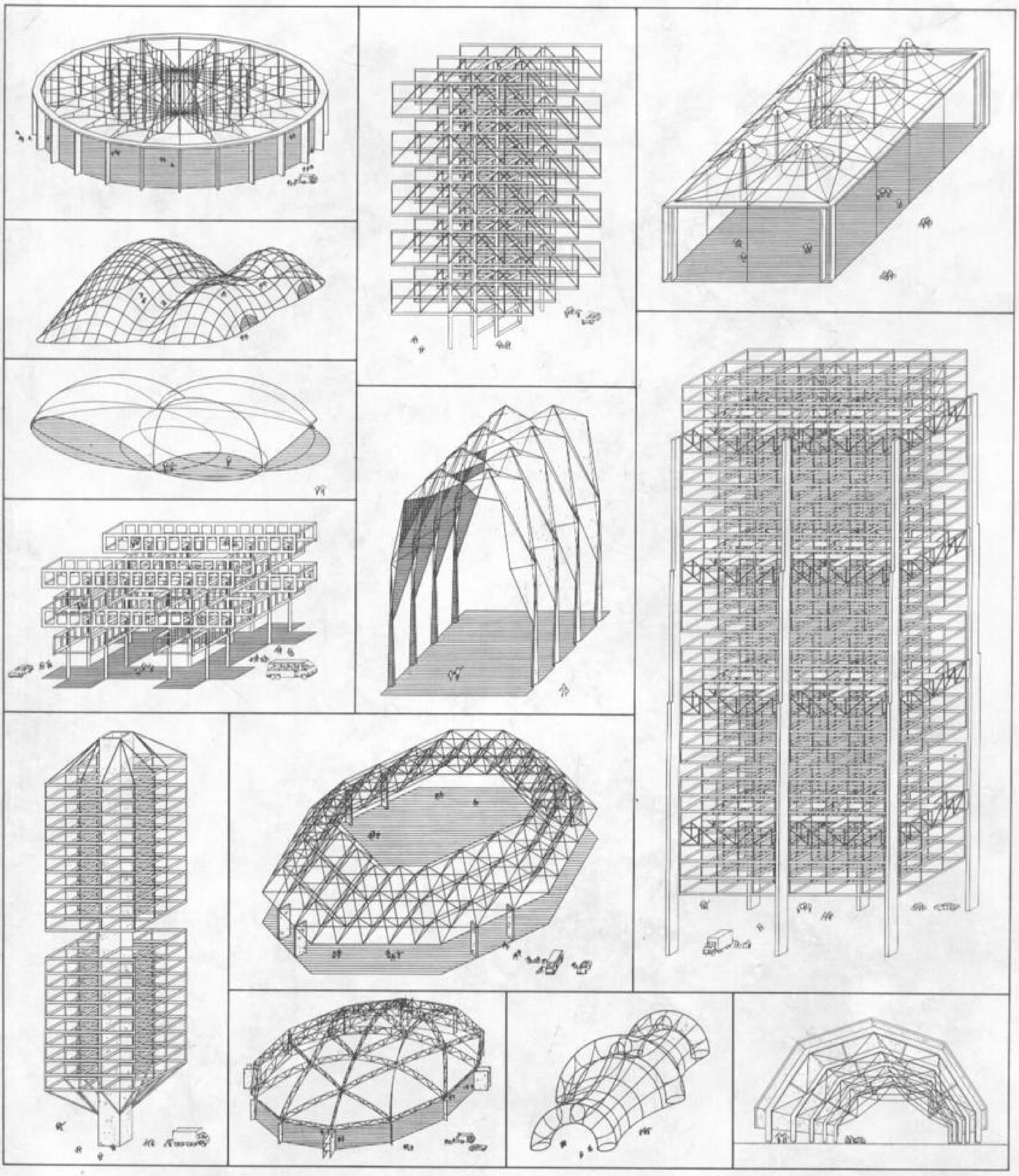
# Sistemas de estructuras

# Sistemas estruturais

## Heino Engel



GG®

# Índice


**0 Fundamentos Metodología**

Significado y función 23
Proyecto arquitectónico y estructural 28
Temas / Conceptos / Relaciones / Fuerzas 33
Criterios para la construcción del sistema 38
Visión general / Esquema de ordenación / Clasificación 40

**1 Forma activa**

Sistemas de estructuras de

Definición / Resumen / Luces 57
Estructuras de cables 63
Estructuras en forma de tienda 86
Estructuras neumáticas 97
Estructuras de arcos 112
Arco funicular
Retículas abovedadas

**2 Vector activo**

Sistemas de estructuras de

Definición / Resumen / Luces 133
Cerchas planas 139
Cerchas planas combinadas 145
Cerchas curvas 148
Mallas espaciales 156

**3 Sección activa**

Sistemas de estructuras de

Definición / Resumen / Luces 171
Estructuras de vigas 177
Estructuras de pórticos 186
Estructuras de retícula de vigas 200
Estructuras de losas 206

**4 Superficie activa**

Sistemas de estructuras de

Definición / Resumen / Luces 211
Estructuras de láminas 217
Estructuras de láminas plegadas 219
Estructuras de membranas 234
Membranas de curvatura simple
Membranas en cúpula
Membranas en silla de montar

**5 Altura activa**

Sistemas de estructuras de

Definición / Resumen / Funcionamiento 267
Deformación y rigidización 276
Sistemas de transmisión vertical de cargas 286
Ejemplos de formas estructurales típicas 298
Geometrías en altura 308

**6 Híbridos**

Sistemas de estructuras

Definición / Potencial 319
Sistemas superpuestos 323
Sistemas acoplados 326
Sistemas combinados 327

**7 Geometría Forma de la estructura**

Significado / Funciones 329
Geometría y diagrama de fuerzas 334
Superficies planas / Pliegues 336
Superficies de curvatura simple 342
Superficies en cúpula 344
Superficies en forma de silla de montar 347

## El significado de la estructura: sustentación de las funciones del edificio

El entorno material del hombre está formado por objetos, aislados y en conjuntos, animados o inanimados, orgánicos o construidos. Según su origen, podemos distinguir dos categorías: los objetos naturales y los técnicos.

También los diferentes elementos con los que está formado un objeto son objetos, al igual que, a la inversa, se puede considerar que cualquier sistema superior es un objeto en el que actúan conjuntamente varios objetos para formar una unidad. Esto quiere decir que los objetos materiales no tienen una escala determinada. Son componentes tanto del macrocosmos como del microcosmos. Como concepto abarcan todos los cuerpos definibles del entorno material.

Todos los objetos materiales de la naturaleza y de la técnica se presentan con su correspondiente forma. La forma, en el campo de los objetos materiales, es la disposición característica en tres dimensiones: es geométrica.

Las formas materiales en la naturaleza y en la técnica ejercen una influencia determinada; satisfacen funciones. Entre estas funciones no sólo se encuentran las causas y efectos mecánicos e instrumentales, sino también los biológicos, semánticos, psicológicos y los puramente preservados de sustancia.

La función especifica está relacionada con la forma especifica. Por consiguiente, si se modifica o se destruye la forma, también se afecta en igual medida a la función. La conservación de la forma es un requisito imprescindible para el mantenimiento de las funciones del entorno material.

Toda forma material, es decir, todo objeto representado por una forma, está sometido fundamentalmente a la acción del peso propio (peso). Las demás fuerzas actuantes se deben, en primer lugar, a la función del objeto; en segundo lugar, a las propiedades y la estructura de la materia, y, finalmente, a las condiciones del entorno.

Por lo tanto, la existencia de un objeto y de su forma parte de la hipótesis de que el objeto puede resistir estas fuerzas; su condición descansa en su capacidad de soportar diferentes fuerzas. La consistencia que concede esta capacidad es la estructura.

Por ello, es válido lo siguiente: las formas materiales del entorno sólo pueden existir gracias a su estructura y, con ello, satisfacer sus funciones. Las estructuras son los verdaderos guardianes de las funciones del entorno material, tanto natural como técnico.

## Acción de la estructura: flujo de fuerzas y transmisión de cargas

Las estructuras naturales y técnicas tienen como misión, no sólo soportar el peso propio del objeto, sino también las cargas adicionales (sobrecargas). Este proceso se describe como transmisión de fuerzas.

Sin embargo, lo esencial del proceso de transmisión de cargas no es la acción, fácilmente imaginable, de la recepción de esfuerzos, sino el proceso interno de transmisión de esfuerzos. Sin la capacidad para trasmitir las cargas, un elemento no es estable, ni frente a su peso propio, ni mucho menos frente a las sobrecargas.

Por lo tanto, una estructura trabaja a tres niveles consecutivos:
1. Recepción de cargas
2. Flujo de cargas
3. Transmisión de cargas

Este proceso se describe como FLUJO DE FUERZAS. Es la idea básica para el diseño de estructuras. A partir del recorrido de las cargas también se puede valorar la rentabilidad de una estructura.

El flujo de fuerzas no plantea problemas en tanto que la forma del objeto se adapte a la dirección de las solicitaciones. En el caso de las cargas gravitatorias se daría este caso si la materia estuviera relacionada de la manera más directa y a la menor distancia posible con tierra, el punto de descarga de las solicitaciones. Sin embargo, aparece un problema cuando la transmisión de cargas no se lleva a cabo tan directamente y ha de recorrer caminos secundarios.

Pero este es el caso más frecuente en la técnica; que la forma se construya para satisfacer una función determinada, de entrada, con independencia del flujo natural de fuerzas e, incluso, a menudo en oposición a ella. Por consiguiente, las formas funcionales así surgidas no están en condiciones de controlar las solicitaciones, a no ser que la función del objeto sea precisamente garantizar esta transmisión de las cargas.

Por lo tanto, el diseño de estructuras en el campo de la técnica tiene como misión desarrollar un sistema de flujo de fuerzas que responda a una imagen funcional prefijada o, como mínimo, se aproxime mucho a ella. Se trata de transformar la imagen de las fuerzas actuantes en una nueva imagen de fuerzas con una acción global similar mediante la materia –ya sea transformando la propia forma funcional, reforzando la materia de la forma o mediante construcciones auxiliares–.

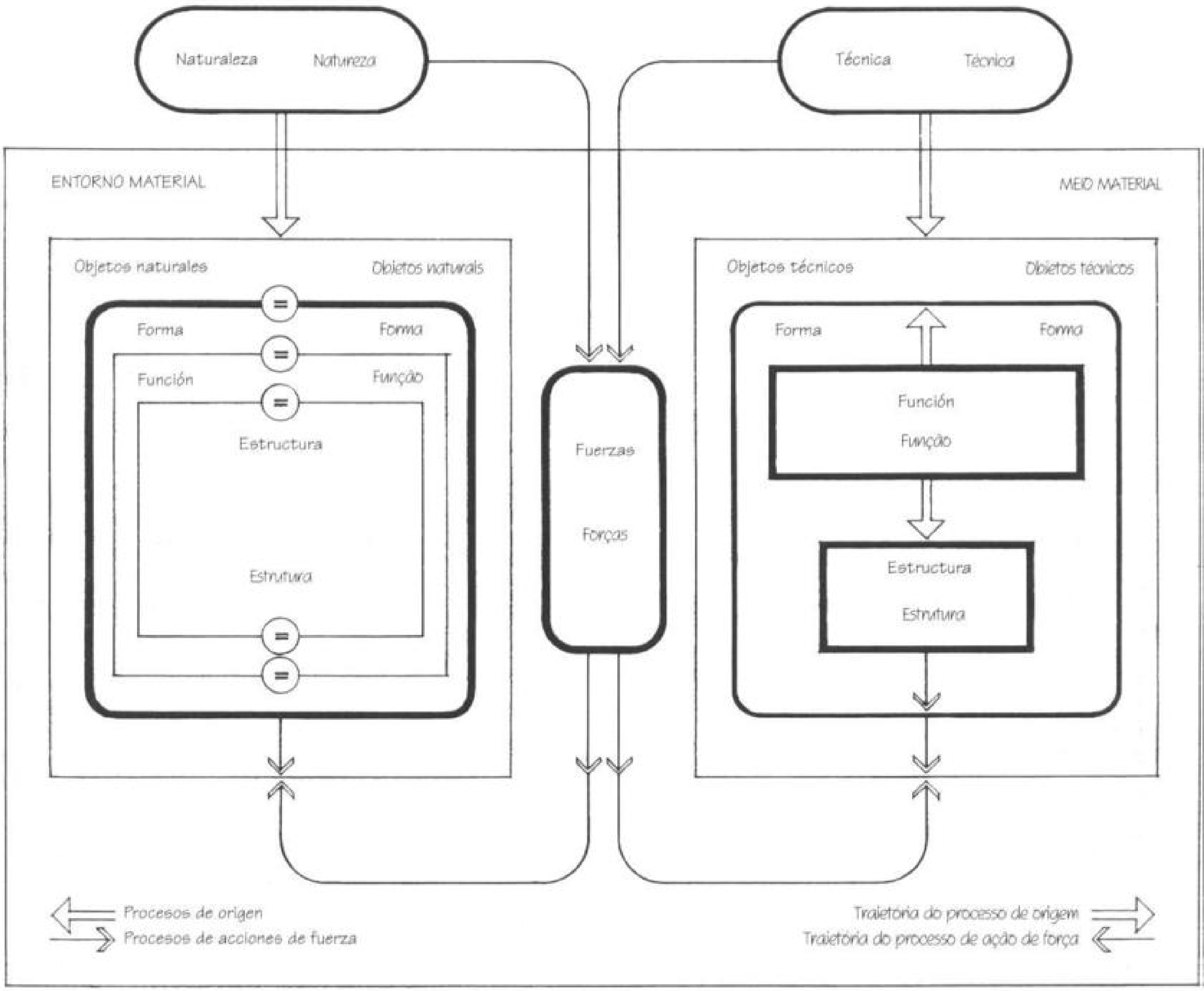
Una nueva configuración de fuerzas se crea menos por el cambio de la *dimensión* de la fuerza que por la nueva orientación de la *dirección* de la fuerza en el espacio. Así, esta última es determinante para la dimensión de los esfuerzos que inciden en el objeto.

El cambio de dirección de los esfuerzos (o fuerzas que fluyen en el interior de la estructura) es la premisa mediante la cual se crean nuevas configuraciones de esfuerzos. Con otras palabras: la transmisión de los esfuerzos se debe realizar por nuevas vías, o sea, debe ser desviado. El DESVÍO DE LOS ESFUERZOS es, por ello, el principio de guiado del flujo de fuerzas en el objeto.

Como conclusión: el conocimiento de los mecanismos existentes para desviar las fuerzas en otra dirección es la premisa fundamental para el desarrollo de nuevas configuraciones de fuerzas. La ciencia de las posibilidades del desvío de fuerzas es el núcleo del estudio de las estructuras y el fundamento para un orden de los sistemas estructurales.

## El significado de las estructuras en el entorno material

## O significado das estruturas no meio material




El entorno material está formado por OBJETOS, aislados y en conjunto, macrocósmicos y microcósmicos, animados e inanimados, de origen natural y construidos; en función de su origen distinguimos dos categorías: los objetos NATURALES y los objetos TÉCNICOS.

Los objetos actúan a través de su FORMA. Por ello, la forma siempre satisface una FUNCIÓN, es decir, la conservación de la forma es imprescindible para la perpetuación de la función.

Todos los objetos están expuestos a fuerzas. La consistencia que garantiza la conservación de la forma del objeto frente a las solicitaciones se denomina ESTRUCTURA. De esto se desprende que las estructuras son pautas materiales para mantener las funciones del objeto en el entorno natural y técnico de los hombres.

O meio material está constituído por OBJETOS, separados e em conjunção, macrocósmicos e microcósmicos, animados e inanimados, crescidos e construídos. Segundo a forte de sua origem estão divididos em duas categorias: Os objetos NATURAIS e os objetos TÉCNICOS.

Os objetos operam através de sua FORMA. Portanto as formas sempre têm uma FUNÇÃO, ou seja, a preservação da forma é um pré-requisito para a perpetuação da função.

Todos os objetos estão expostos às forças. A consistência que mantém a perpetuação da forma do objeto contra as forças chama-se ESTRUTURA. Desde aqui, infere-se que as estruturas são modelos materiais para a preservação da função do objeto no meio natural e técnico do homem.

### Las estructuras de la naturaleza y de la técnica

No se distinguen por la mecánica de sus acciones, sino por su relación con la forma y la función del objeto. En la naturaleza, la estructura se integra en ambos aspectos del objeto y, por tanto, no pueden –al contrario que en la técnica– entenderse como estructuras independientes.

### Estruturas da natureza e da técnica

Não se diferenciam no mecanismo de suas ações, mas em sua relação com a forma do objeto, por um lado, e com a função do objeto, por outro. Na natureza, a estrutura está integrada no conteúdo destes dois objetos e portanto –contrariamente às estruturas técnicas– não pode ser distinguida como uma entidade própria.

## O significado da estrutura: preservação da função do objeto

O meio material do homem está composto por objetos isolados ou em conjunção, animados ou inanimados, crescidos e construídos. De acordo com sua origem, estão divididos em duas categorias: objetos naturais e objetos técnicos.

Também os elementos, dos quais o objeto separado está composto, são objetos que, no inverso daquele grande sistema, outra vez figuram como peças, onde vários objetos separados interagem um único. Portanto, os objetos materiais não pertencem a uma grandeza particular. Eles são componentes de ambos: macrocosmo e microcosmo. Como noção eles compreendem todos os sólidos definíveis no meio material.

Todos os objetos materiais na natureza e na técnica manifestam-se através de uma forma específica. A forma no dominio físico é a distinta distribuição da substância do objeto em três dimensões. É geométrica.

As forma materiais na natureza e na técnica atuam de maneira diferente; elas cumprem funções. Neste contexto, as funções não são somente mecânicas e instrumentais, mas também biológicas, semânticas e psicológicas ou, simplesmente, a substância que preserva causas e efeitos.

A função específica está amarrada à forma específica. Portanto se a forma está invadida ou aniquilada, as funções estarão também debilitadas igualmente. Portanto a preservação da forma é um pré-requisito para a perpetuação de funções no meio material.

Cada forma material, isto é, o objeto como representado pela forma, está inevitavelmente exposta à ação de forças gravitacionais (peso). Outras forças de ação originam-se primeiro da função do objeto, segundo das características e articulação da substância e finalmente das condições do ambiente.

Isso quer dizer que para a existência de um objeto e sua forma, é necessário que o objeto possa suportar àquelas forças. Ele descansa sobre sua capacidade de enfrentar forças de vários tipos, 'suportá-las'. A consistência que confere esta capacidade é a estrutura.

Portanto é válida a declaração: somente através de suas estruturas, as formas materiais do meio permanecerão intactas e portanto poderão completar suas devidas funções. As estruturas são os verdadeiros preservadores das funções do meio material em natureza e técnica.

## Ação de estrutura: fluxo de forças / distribuição de forças

As estruturas na natureza e na técnica servem o propósito de não somente controlar o seu peso próprio, mas também de receber carga adicional (forças). Esta ação mecânica é o que se chama de 'suporte'.

A essência do processo de suporte, de qualquer maneira, geralmente não é uma ação aberta de recebimento de carga, mas o processo interno de operação de transmiti-las. Sem a capacidade de transferir e descarregar cargas, um sólido não pode suportar seu peso próprio e menos ainda uma sobrecarga.

A estrutura, portanto, faz funcionar totalmente juntas as três operações subseqüentes:
1. Recepção de carga
2. Transmissão de carga
3. Descarga

Este processo é chamado FLUXO DE FORÇAS. É a imagem conceitual básica para o projeto de uma estrutura, sua idéia básica. Como trilha de força, é também o modelo para a economia da estrutura.

O fluxo de forças não apresenta problemas, sempre que a forma do objeto siga a direção das forças atuantes. No caso da força gravitacional, tal situação existirá se a substância for conectada na rota mais curta e direta com o ponto de descarga, a Terra. Nascerá portanto o problema quando o fluxo de força não tome uma rota direta, mas tiver que sofrer desvios.

Mas essa é exatamente a situação técnica normal isto é, aquela forma é desenhada para servir a uma função particular, inicialmente independente, e freqüentemente contrária, ao fluxo natural das forças. Portanto, as formas funcionais, ainda que geradas, não possuem a faculdade de controlar forças em desenvolvimento, exceto quando tal controle é tencionado a ser a função do objeto.

Assim, o projeto das estruturas no dominio das técnicas está comprometido a desenvolver –como um ato subseqüente– um sistema para o fluxo de forças com o qual combine, ou pelo menos aproxime-se, à imagem funcional já previamente desenhada. A tarefa é converter o 'quadro' de forças atuantes através de substâncias materiais em um novo quadro de forças com total igualdade de potência, seja através da alteração da própria forma funcional, seja através do reforço das substâncias da forma, ou através da estrutura adicional.

Assim então, um novo 'quadro' de forças será gerado menos pela mudança da *grandeza* das forças que pelo traçado de uma nova *direção* das forças. Na verdade, esta é a última medida que determinará a grandeza das forças que agem dentro do objeto.

Mudar a direção das forças é então o verdadeiro pré-requisito sob o qual novos 'quadros' de força emergirão. Em outras palavras, o transporte de forças tem que ser guiado por rotas insólitas, tem que ser reorientado. REDISTRIBUIÇÃO DE FORÇAS é, assim, o princípio para conduzir o fluxo de forças no objeto.

A conclusão é a seguinte: o conhecimento do mecanismo desconhecido para guiar forças a outras direções é o requisito básico para desenvolver novos 'quadros' de força. A teoria sublinhando as possibilidades de como redistribuir forças é o núcleo de conhecimento em estruturas e a base para uma sistemática em estruturas arquitetônicas.

Coincidencias y diferencias entre las construcciones estructurales naturales y las técnicas

| Construcciones estructurales | 1 Misión | 2 Creación | 3 Funcionamiento | 4 Referencia al objeto |
|---|---|---|---|---|
| NATURALEZA | – Seguridad de la forma del objeto contra las acciones<br>– Como consecuencia, mantenimiento de la función del objeto | – Componente de la generación total del objeto<br>– Ejecución del proceso de forma autógena<br>– Líneas de proceso diferenciadas, sin articulación, sin graduación | – Desvío de las acciones según las reglas de la física mecánica<br>– Generación de equilibrio<br>– Conducción del flujo de los esfuerzos en el objeto hasta su entrega | – Parte de la materia del objeto<br>– Parte integrante de la función del objeto<br>– Existencia sólo como concepto, no como materia con límites definidos |
| TÉCNICA | – Idem | – Proceso separado según diseño de la forma funcional (y objetual)<br>– Ejecución del proceso de forma heterogénea e instrumental<br>– Proceso uniaxial dividido en etapas unívocas | – Idem | – Adición a la materia del objeto<br>– Consecuencia obligada de la función del objeto y, por ello, atributo secundario de la forma del objeto<br>– Cuerpo autónomo y limitado |

## Estructuras naturales y técnicas: concordancias

Las estructuras técnicas presentan analogías, paralelismos o parecidos con las estructuras naturales. Esto parece consecuente: el hombre ha tomado siempre a la naturaleza como modelo en sus intentos de dar forma a su entorno según sus ideas. La ciencia y la tecnología surgen a partir de la exploración de la naturaleza.

La relación entre las estructuras de la naturaleza y de la técnica no se debe tanto a la proximidad de hombre y naturaleza, sino a dos concordancias fundamentales:

- las dos familias de estructuras tienen como misión garantizar las formas materiales frente a las fuerzas actuantes
- las dos familias de estructuras satisfacen esta tarea según las mismas leyes físicas de la mecánica.

En términos de procesos mecánicos, tanto las estructuras de la naturaleza como las de la técnica desvían las solicitaciones para conservar una forma determinada que posee una relación determinada con la función. Ambas lo realizan según dos principios básicos: flujo de fuerzas y estado de equilibrio.

Debido a esta concordancia causal e instrumental, las estructuras de los objetos naturales son modelos legítimos de comparación para el desarrollo de estructuras técnicas. Sobre todo, son fuentes importantes de conocimiento de las relaciones entre función, forma y estructura.

## Estructuras naturales y técnicas: divergencias

La principal causa de diferencia entre ambas familias de estructuras –en tanto que realidad material concepto– se debe a la disparidad de su origen:

Naturaleza: crecimiento - mutación - división - fusión - evolución - decadencia
= procesos individuales autogenerados e independientes que se desarrollan periódica o continuamente.

Técnica: proyecto - cálculo - concreción - producción - demolición
= procesos individuales indispensables, dependientes entre ellos y temporalmente finitos (es decir, momentáneos).

Las diferencias básicas entre las dos familias estructurales –reforzadas además por las grandes diferencias entre los materiales empleados– permiten extraer las siguientes conclusiones: si bien las estructuras de la naturaleza ofrecen un material inagotable para los múltiples comportamientos posibles de las estructuras, y muestran caminos para su optimización, no son apropiadas para ser imitadas "al pie de la letra" como estructuras de la técnica.

Sin embargo, las formas estructurales de la naturaleza –en tanto formas integradas para la edificación y el control de las fuerzas– proporcionan ideas clásicas y ejemplos modélicos para superar la disociación existente entre los sistemas técnicos de construcción, cerramientos, instalaciones y comunicación en la evolución de la construcción. Sobre todo, muestran el gran potencial de proyecto que contiene la evolución de las formas estructurales sinergéticas.

Igualdades e diversidades das estruturas naturais e técnicas

| Estruturas | 1 Função | 2 Origem | 3 Ação | 4 Relação com o objeto |
|---|---|---|---|---|
| NATUREZA | - Proteção da forma do objeto contra forças atuantes<br>- (como conseqüência) Preservação da função do objeto | - Componentes da origem integral do objeto<br>- Desempenho autógeno<br>- Diferentes rotas de processo de anulação dos estágios de operação | - Redistribuição de forças atuantes sujeitas aos princípios da física mecânica<br>- Estabelecimento de equilíbrio<br>- Controle de fluxo de forças no objeto até sua descarga | - Componente do tecido do objeto<br>- Parte constituinte da função do objeto, portanto, ingrediente da forma do objeto<br>- Existência somente como noção, não como entidade material definível |
| TÉCNICA | - Idem | - Processo separado sujeito ao projeto da forma funcional<br>- Desempenho instrumental heterogêneo<br>- Um processo de rota subdividido em estágios operacionais específicos | - Idem | - Adição à matéria do objeto<br>- Conseqüência da função do objeto, portanto, elemento subordinado na forma do objeto<br>- Sólido definível e independente |

## Estruturas naturais e técnicas: igualdades

As estruturas técnicas suprem analogias paralelas e similares com as estruturas do domínio da natureza. Isso parece racional: na tentativa de modelar o meio para adequá-lo a seus propósitos, o homem sempre usou a natureza como modelo. Ciência e tecnologia são resultados da exploração da natureza.

No entanto, a correlação das estruturas naturais e técnicas está menos baseada na proximidade do homem à natureza, que em duas identidades básicas:

- ambas as famílias de estruturas servem ao propósito de salvaguardar as formas materiais em seu seguimento contra as forças atuantes.
- ambas as famílias de estruturas cumprem esse propósito, baseado em idênticas leis físicas da mecânica.

Em termos do processo mecânico: as estruturas na natureza e na técnica afetam a redistribuição das forças, que se aproximam a fim de preservar uma forma definida que mantenha uma relação definida com a função. Ambas executam isso identicamente baseadas em dois princípios: o fluxo de força e o estado de equilíbrio.

Por causa desta causa e identidade instrumental, as estruturas dos objetos naturais são modelos legitimados e comparativos no desenvolvimento das estruturas técnicas. Elas são, antes de tudo, fontes importantes para a aprendizagem sobre a união da função, forma e estrutura.

## Estruturas naturais e técnicas: diversidades

A causa essencial para discernir entre as duas famílias de estrutura, tanto em matéria como em conceito, é dada pela disparidade das suas origens:

Natureza: crescimento - mutação - separação - fusão - evolução - deterioração
= processo individual separado, ocorre externamente a si mesmo, temporariamente contínuo ou periódico

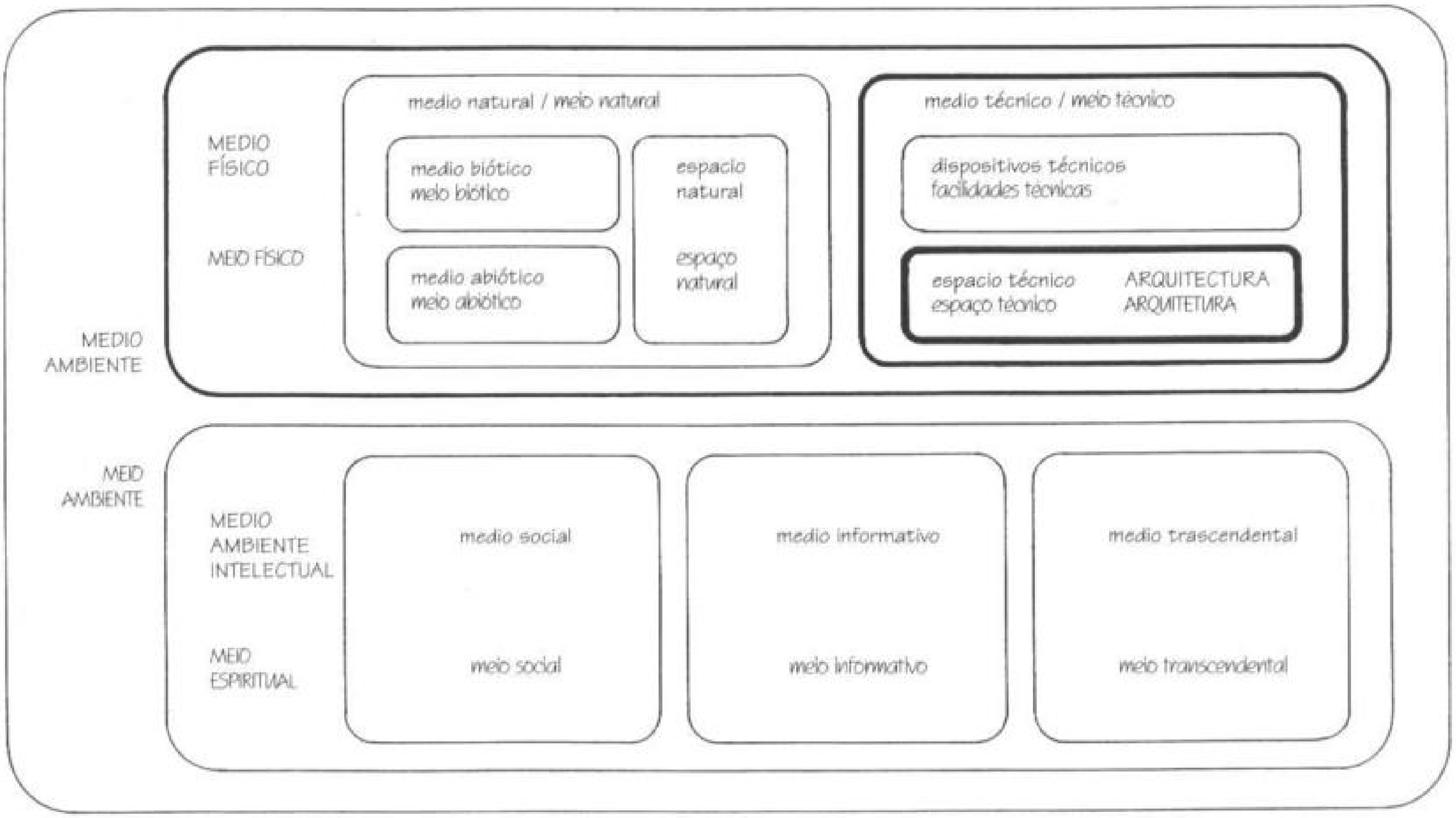
Técnica: projeto - análise - implementação - produção - demolição
= indispensável processo de formação, ocorre instrumentalmente, interdependente, temporariamente finito (momentâneo)

As discrepâncias elementares das duas famílias de estruturas –não obstante intensificadas pela diferença do material constituinte– leva às seguintes conclusões: as formas estruturais na natureza, ainda que apresentando um exaustivo material de ilustração para a forma de comportamento múltiplo das estruturas, e mostrando meios para a sua adequação e melhora, não estão aptas para serem 'literalmente' adotadas como estruturas técnicas.

No entanto, como formas integradas entre ambas, a função do objeto e a administração das forças, as estruturas da natureza apresentam diretrizes clássicas e exemplos ideais para esforços no desenvolvimento da construção para resolver a existente separação dos sistemas técnicos: estruturas de construção, espaço fechado, serviços, comunicação. Primeiro eles mostram o grande potencial do desenho contido no desenvolvimento das formas de estruturas sinérgicas.

Significado de la arquitectura como parte del medio ambiente

Interpretação da arquitetura como parte do meio ambiente

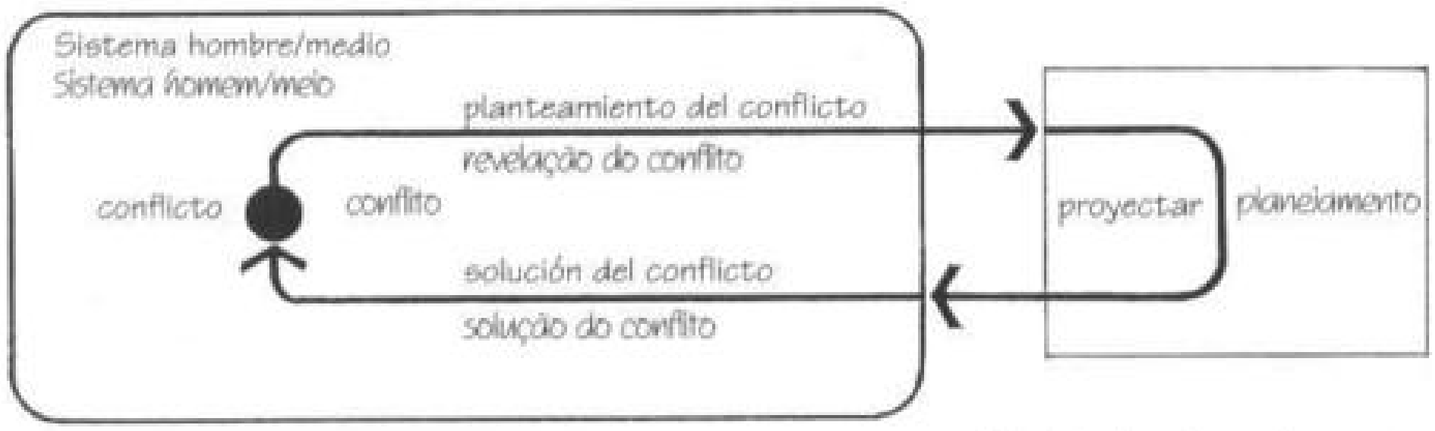



Definición de 'arquitectura'

La arquitectura es el ESPACIO TÉCNICO del medio físico. 'Técnico', en este contexto, significa la capacidad de "ser modelado por el hombre", es decir, "aquello-que-no-ha-surgido-por-sí-mismo"

Definição de 'arquitetura'

Arquitetura é o ESPAÇO TÉCNICO do meio físico. 'Técnico' neste contexto significa a qualidade de 'ser modelado pelo homem', que consiste em 'não ter sido originado por si mesmo'

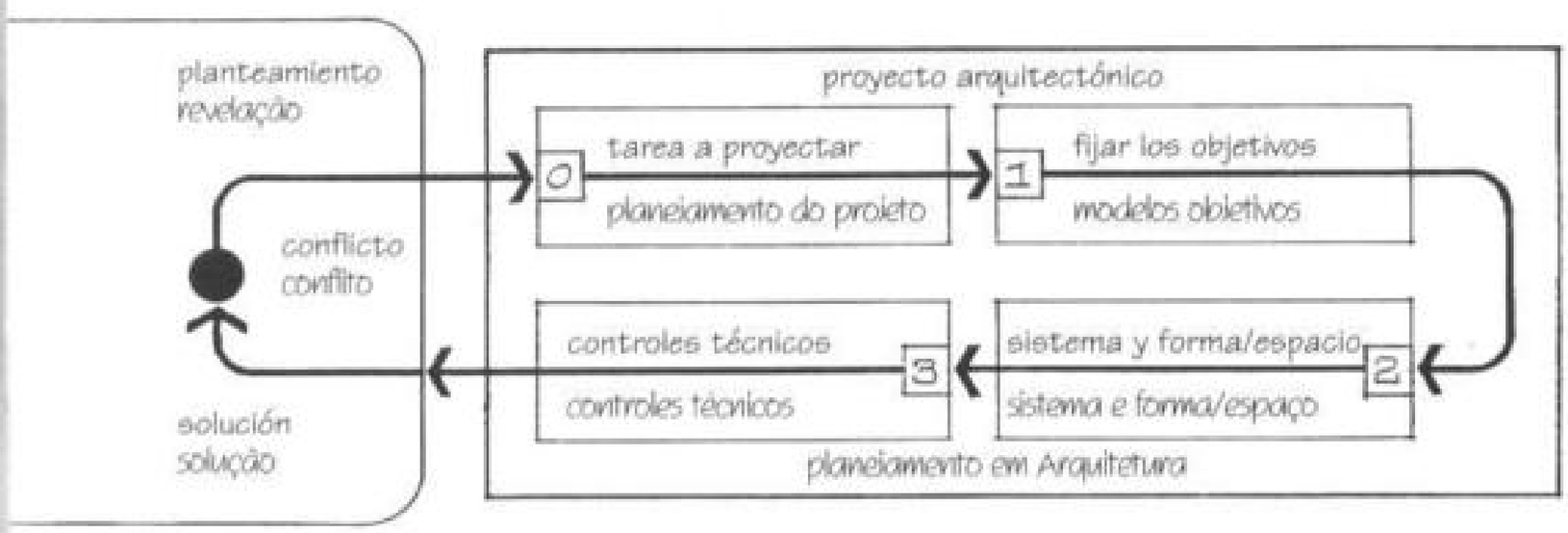



Causalidad del diseño arquitectónico

Causalidade do planejamento em arquitetura

Plantear un CONFLICTO HOMBRE/MEDIO es la causalidad del diseño en general. En el campo de la arquitectura existe un conflicto cuando el entorno construido, el "espacio técnico", no satisface, o sólo parcialmente, determinadas necesidades del hombre.

A revelação do CONFLITO HOMEM / MEIO é a causalidade do planejamento em geral. No caso da arquitetura existe um conflito, se o meio construído, 'o espaço técnico', não for adequado, ou simplesmente incompleto para certos desejos do homem.



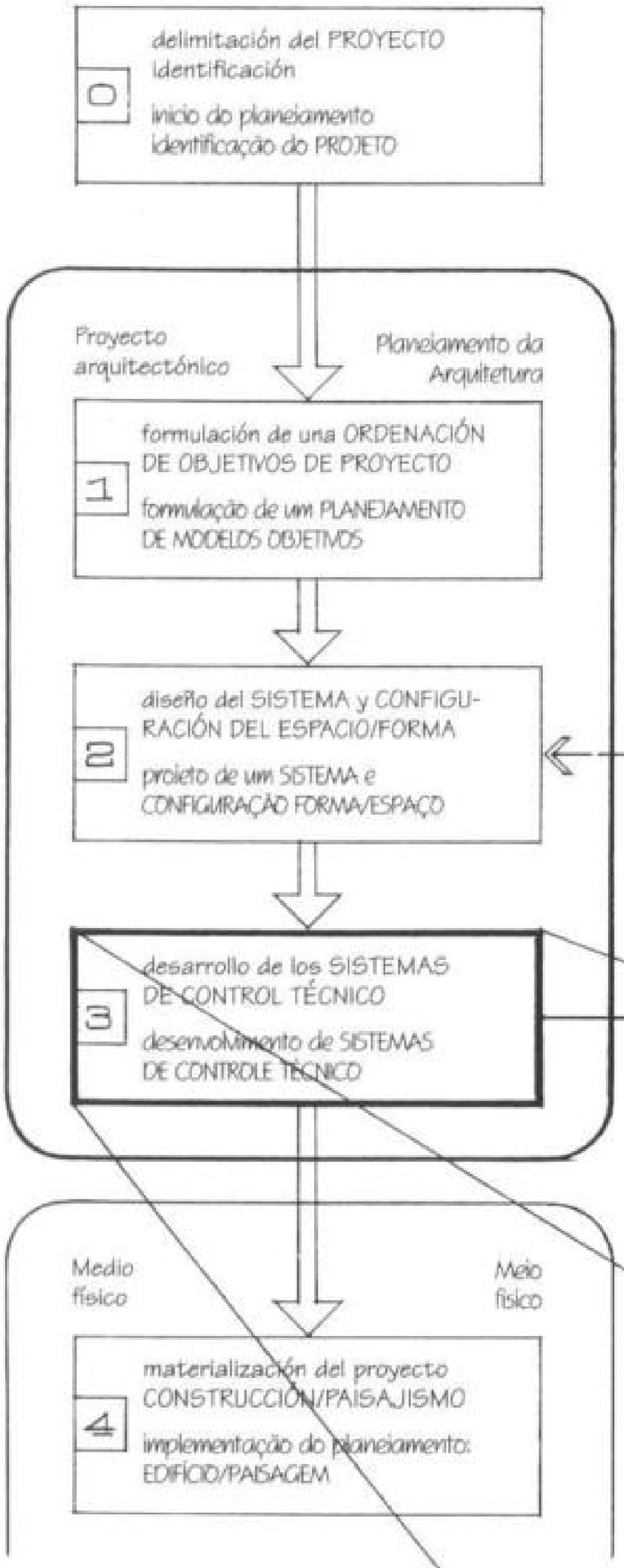

Principales fases del proyecto arquitectónico

El diseño arquitectónico se inicia fijando la TAREA A PROYECTAR. Se realiza en tres fases consecutivas:
1 Fijar los OBJETIVOS
2 Diseño de SISTEMA Y CONFIGURACIÓN FORMA/ESPACIO
3 Desarrollo de los SISTEMAS DE CONTROL TÉCNICO

Principais fases do planejamento em arquitetura

O planejamento em arquitetura é iniciado através da definição do PLANEJAMENTO DO PROJETO. Manifesta-se como a seqüência de três fases principais:
1 Interpretação dos MODELOS OBJETIVOS
2 Projeto do SISTEMA e CONFIGURAÇÃO FORMA/ESPAÇO
3 Desenvolvimento dos SISTEMAS DE CONTROLE TÉCNICO

## Desarrollo del proceso de proyecto en arquitectura




Seqüência do processo de planejamento em construção

### Definición del proyecto

Diseñar en general = desarrollo de ideas con un doble contenido

1 Representación de un estado intencionado nuevo o modificado

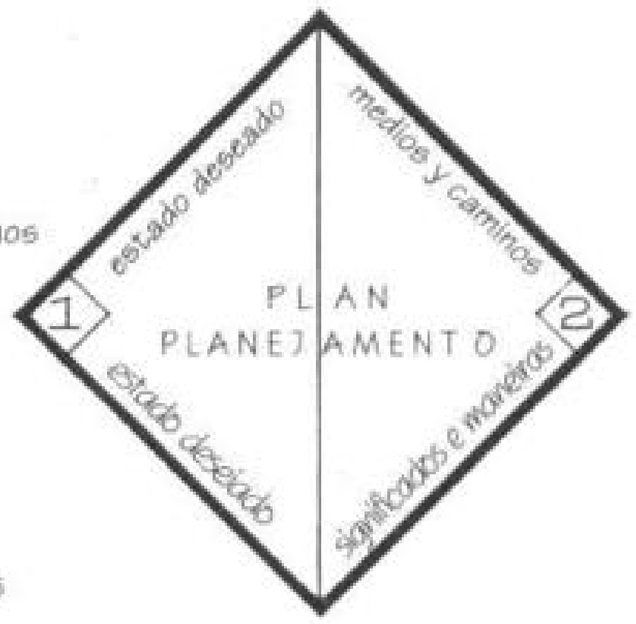
2 Especificación de los medios y caminos para llevar a cabo dicho estado

### Definição do planejamento

Planificação em geral = desenvolvendo conceitos com um conteúdo duplo

1 Representação de mudança de estado ou intenção de mudança

2 Especificações de maneiras e significados para efetuar este estado




## Posición del diseño de estructuras en la proyectación arquitectónica
## Posição do projeto de estrutura no processo de planejamento em arquitetura

comprobación / verificação

3.1 diseño del cerramiento del espacio
Projeto de espaços fechados

3.2 desarrollo de la estructura
desenvolvimento da estrutura da construção

3.3 determinación de las instalaciones de aprovisionamiento y evacuación
distribuição de serviços

3.4 determinación de las instalaciones de comunicación
distribuição do equipamento de transporte

Por regla general, el diseño de estructuras dentro del proceso lineal del proyecto arquitectónico sólo se puede realizar después de haber concebido la configuración forma/espacio. Con la comprobación se garantiza que los impulsos formales de la estructura se incorporen de manera eficaz en la fase de configuración/formalización del espacio

O desenho estrutural no planejamento linear do processo de arquitetura, como regra, pode funcionar somente depois que a configuração forma /espaço houver sido concebida. Está garantido através da verificação que os impulsos da forma do projeto estrutural serão totalmente eficazes na fase de desenho forma / espaço

### Sistemas de control técnico — Sistema de controle técnico

| | objeto de control<br>objeto de controle | sistema técnico<br>sistema técnico |
|---|---|---|
| 3.1 | espacio<br>espaço | cerramiento del espacio<br>espaço fechado |
| 3.2 | fuerzas y momentos<br>forças e momentos | estructura<br>estrutura da construção |
| 3.3 | energía y desechos<br>energia e desperdício | instalaciones de aprovisionamiento y evacuación<br>utilidades (serviços) |
| 3.4 | transporte<br>transporte | instalaciones de comunicación<br>equipamento de transporte |

## Función y significado de las estructuras

### Estructuras y sistemas

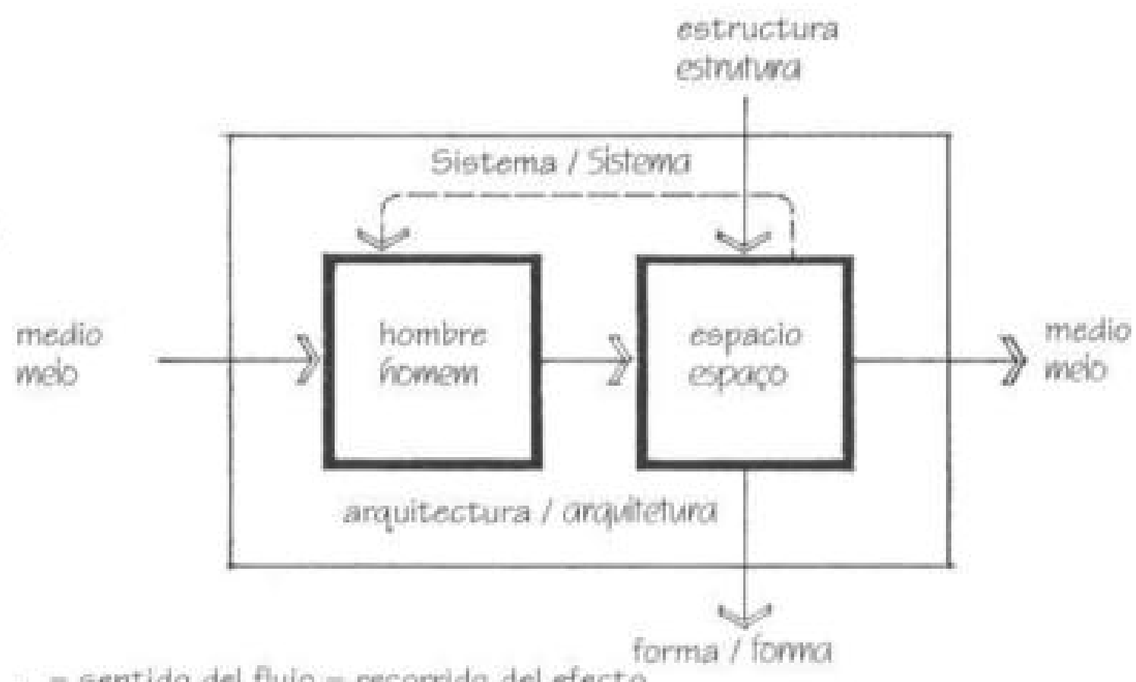
Las estructuras, tanto las de la naturaleza como las de la técnica, sirven en general para mantener la forma de los objetos. Conservar la forma es imprescindible para que puedan satisfacer las necesidades de los sistemas: máquina / casa / árbol / hombre

+ sin estructura no hay sistema

### Estructura y edificio

La función del sistema técnico-social de los edificios descansa en la existencia de un espacio definido. El espacio se define por sus límites. El responsable de los límites es la estructura.

+ sin estructura no hay edificio




## Função e significado das estruturas

### Estruturas e sistemas

As estruturas na natureza e na técnica servem essencialmente ao propósito de sustentar a forma física. A preservação da forma é um pré-requisito para a atuação do sistema: motor / casa / árvore / homem

+ sem estrutura não há sistema

### Estruturas e construções

A função do sistema técnico-social 'construção' apoia-se basicamente na existência de um espaço definido. O espaço é definido pelo que ele inclui. O autor do que abrange o espaço é a estrutura.

+ sem estrutura não há construção

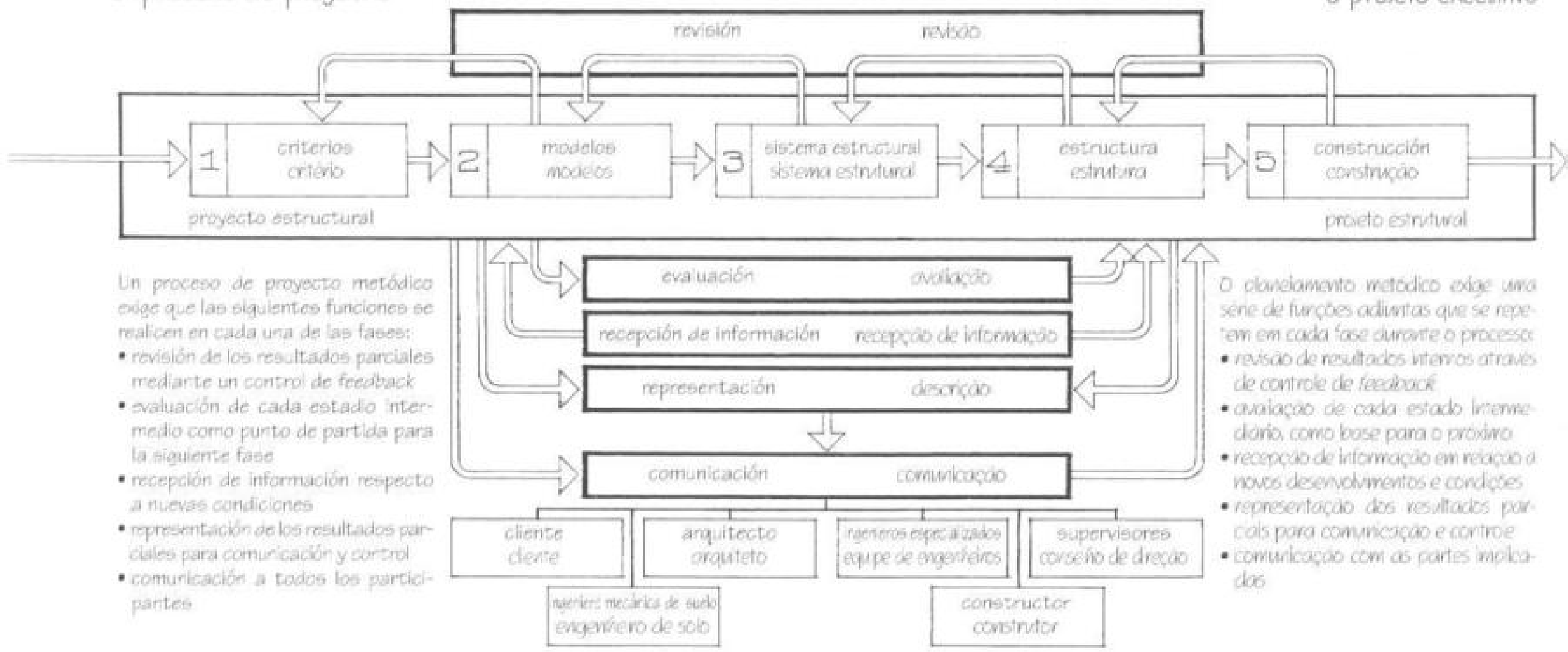
## Fases principales del proyecto de una estructura / Comparación entre diferentes conceptos

## Principais fases do projeto estrutural / Comparação de conceitos

| | | Ambrose | Buttner/Hampe | Tabla de honorarios/Tabela de honorários HOAI (decreto) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | definición de los criterios<br>definição de critério | definición del programa<br>programação | definición de la tarea<br>definição do projeto | estudios previos<br>estudos preliminares |
| 2 | desarrollo del modelo<br>modelo de desenvolvimento | diseño (tipo de estructura)<br>planejamento (tipo de estrutura) | desarrollo de las principales soluciones<br>desenvolvimento de soluções básicas | anteproyecto<br>anteprojeto |
| 3 | proyecto del sistema estructural<br>projeto de sistema estrutural | cálculo estructural<br>análise estrutural | concreción del proyecto<br>consolidação do projeto | proyecto básico<br>projeto básico |
| 4 | cálculo estructural<br>análise estrutural | dimensionado definitivo<br>projeto definitivo | valoración analítica<br>avaliação analítica | cálculo estructural<br>cálculo estrutural |
| 5 | planificación de la construcción<br>plano de construção | construcción - diseño de detalles<br>detalhamento da construção | fijación de la estructura portante<br>determinação da forma da estrutura | proyecto de ejecución<br>projeto executivo |

## Funciones rutinarias que acompañan el proceso de proyecto

## Funções de rotina que acompanham o projeto executivo




Un proceso de proyecto metódico exige que las siguientes funciones se realicen en cada una de las fases:

- revisión de los resultados parciales mediante un control de feedback
- evaluación de cada estadio intermedio como punto de partida para la siguiente fase
- recepción de información respecto a nuevas condiciones
- representación de los resultados parciales para comunicación y control
- comunicación a todos los participantes

O planejamento metódico exige uma série de funções adiantas que se repetem em cada fase durante o processo:

- revisão de resultados internos através de controle de feedback
- avaliação de cada estado intermediário, como base para o próximo
- recepção de informação em relação a novos desenvolvimentos e condições
- representação dos resultados parciais para comunicação e controle
- comunicação com as partes implicadas

Esquema de procesos y fases del proyecto estructural / Cuadro de organización
Modelo do processo e fases do projeto estrutural / Esquema de organização

Diseño
Sistema y forma / configuración del espacio

Projeto
Sistema e forma / configuração espacial

feedback

feedback

Proyecto arquitectónico

Projeto arquitetónico

Integración
Sistemas de control técnico

Integração
Sistema de controle técnico

Ejecución
Execução

Diseño estructural

Projeto estrutural

| | | |
|---|---|---|
| Criterios | 1 | Critério |

Definición de los criterios estructurales específicos del proyecto
Definição do critério do projeto específico da estrutura

| | | |
|---|---|---|
| Modelos | 2 | Modelos |

Desarrollo de los modelos correspondientes a las posibles soluciones de sistemas estructurales
Desenvolvimento de modelos de possíveis soluções do sistema estrutural

| | | |
|---|---|---|
| Sistema estructural | 3 | Sistema estrutural |

Diseño de la geometría básica del sistema estructural
Desenho da base geométrica do sistema estrutural

| | | |
|---|---|---|
| Estructura | 4 | Estrutura |

Cálculo de la estructura y sus elementos
Análise (cálculo) da estrutura e de seus componentes

| | | |
|---|---|---|
| Construcción | 5 | Construção |

Organización de la construcción y su ejecución
Planeamento de construção e execução

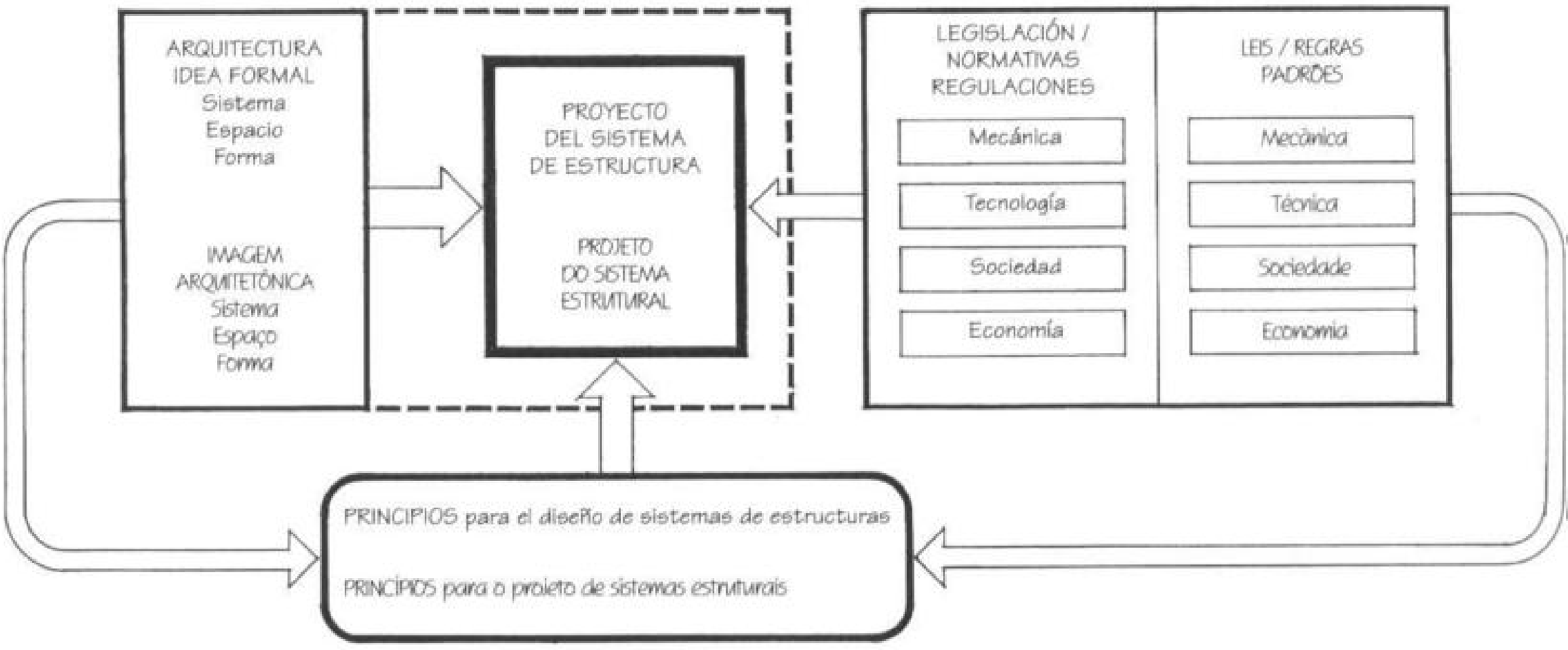
| | | |
|---|---|---|
| 11 | Análisis de los objetivos del edificio = datos de partida | Análise dos objetivos de construção = informação inicial |
| 12 | Estudio del emplazamiento y sus condicionantes estructurales | Estudo de implantações e condições de armadura |
| 13 | Definición de los criterios de diseño específicos del proyecto | Definição do critério de desenho específico do projeto |
| 21 | Búsqueda de sistemas estructurales con una geometría compatible | Procura de sistemas estruturais com a geometria relacionada |
| 22 | Ajuste a los objetivos fijados o rediseño | Adaptação aos objetivos da construção ou novo projeto |
| 23 | Establecer opciones de soluciones válidas = modelos | Formulação de opções de sistema válidas = modelos |
| 31 | Comparación entre modelos = función, técnica, estética, costes | Comparação de modelos = função, técnica, estética, custo |
| 32 | Decisión sobre el sistema estructural elegido (material) | Determinação da escolha do sistema estrutural (material) |
| 33 | Definición del sistema estructural secundario | Definição dos sistemas de estrutura secundários |
| 34 | Hipótesis del sistema de fuerzas que se originará | Prognóstico de desenvolvimento dos sistemas de tensão |
| 35 | Predimensionado de los elementos del sistema | Dimensionamento preliminar dos componentes do sistema |
| 41 | Determinación de los elementos estructurales y sus uniones | Determinação dos membros da estrutura e suas juntas |
| 42 | Cálculo de las cargas, fuerzas y momentos | Cálculo de cargas, forças e momentos |
| 43 | Dimensionado de las partes y comprobación del cálculo estático | Dimensionamento das partes com cálculo de estabilidade |
| 51 | Confección de detalles de los elementos y construcción | Detalhamento dos elementos e construções |
| 52 | Descripción de la ejecución y las técnicas de ensamblaje | Descrição da fabricação e métodos de montagem |

## Principios generales para el diseño de sistemas de estructuras

## Princípios gerais para o desenho de sistemas estruturais

*Relaciones entre los principales condicionantes en el proceso de proyecto*

*Relação entre os principais determinantes no processo de projeto*




Los principios de validez universal para el diseño de los sistemas de estructuras se basan en las relaciones entre los principales requisitos que determinan el sistema, la forma y la función de la estructura

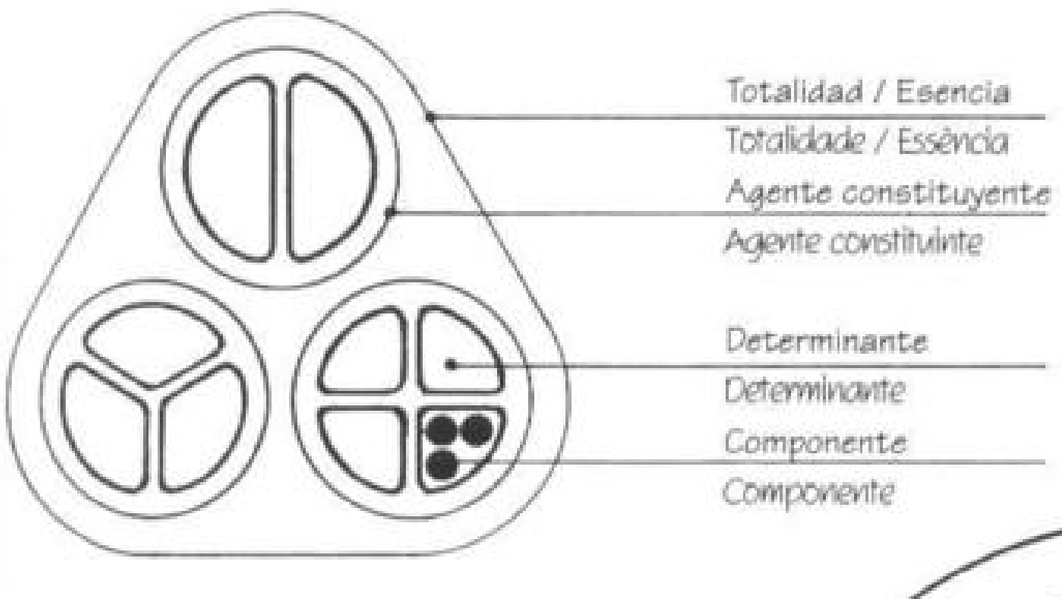
*Da relação entre os principais agentes que determinam o sistema, a forma e a função das estruturas, os princípios universalmente válidos para o projeto dos sistemas de estrutura podem ser derivados*

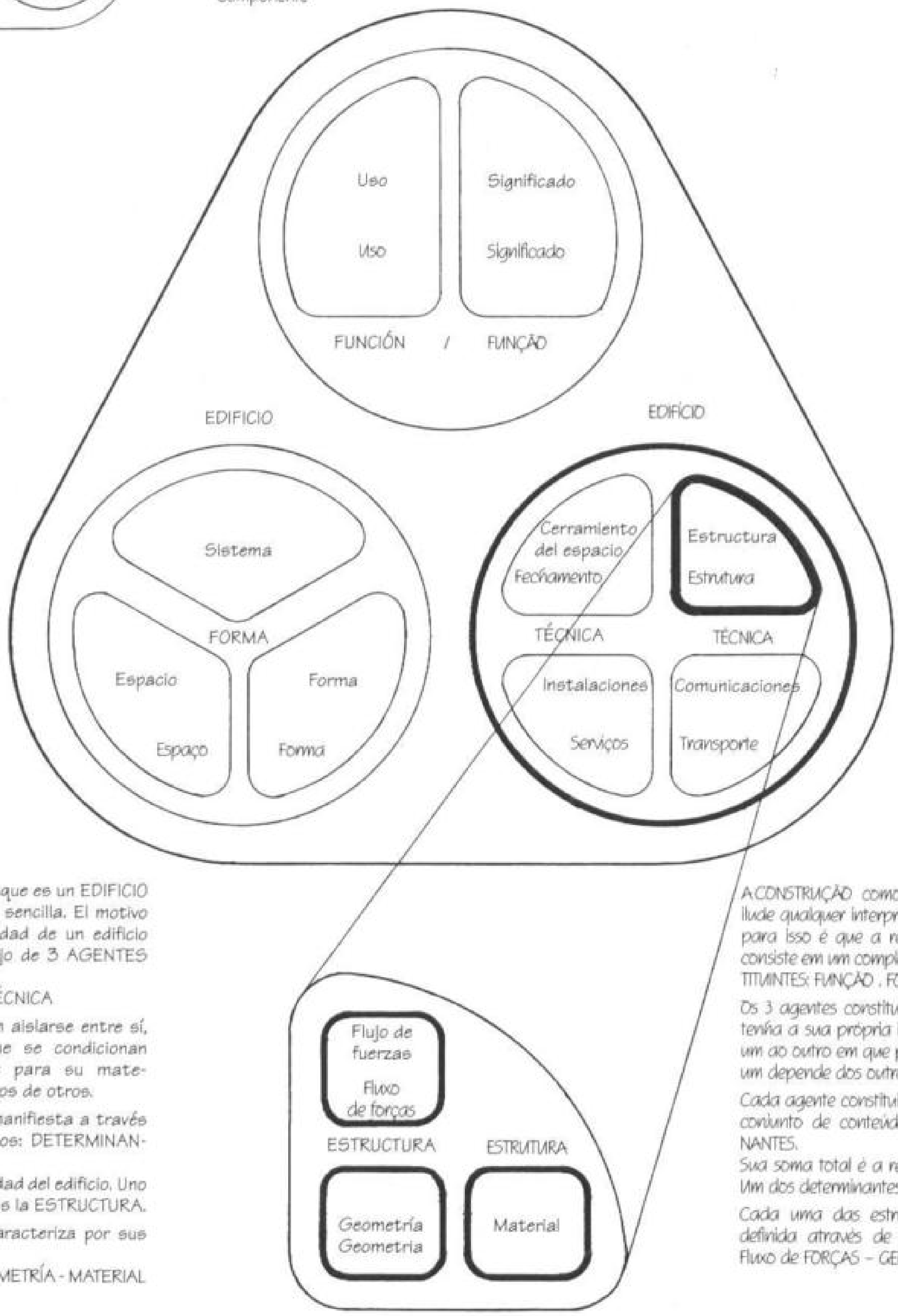
Principios de diseño = criterios de cualidad de los sistemas de estructuras

Princípios de projeto = critério para a qualidade dos sistemas estruturais

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| principios FORMALES | Compatibilidad con la primera idea arquitectónica y viabilidad para su desarrollo. | 1 | Compatibilidade e qualificação para a melhora da idéia inicial do projeto arquitetônico | principios da FORMA DO PROJETO |
| | Conformidad del peso propio en el marco de los generadores de forma arquitectónica | 2 | Adequação de classe dentro da união dos geradores da forma arquitetônica | |
| | Potencial de optimización y remodelación para la caracterización de la forma construida | 3 | Potencial para melhora ou reavaliação no projeto da forma da construção | |
| principios ESTÁTICOS | Realidad tridimensional del comportamiento estructural y del diseño estructural | 4 | Realidade tridimensional do comportamento estrutural e projeto estrutural | principios ESTRUTURAIS |
| | Linealidad y lógica de la transmisión de cargas desde la recepción de cargas hasta la descarga de esfuerzos | 5 | Retidão e lógica do fluxo de forças, desde recebimento até a descarga de esforços | |
| | Identificación del sistema para la estabilización frente a solicitaciones horizontales y asimétricas | 6 | Identificação de sistemas para estabilização contra cargas assimétricas e horizontais | |
| | Preferencia de sistemas estáticamente indeterminados (frente a sistemas determinados estáticamente) | 7 | Preferência de sistemas estaticamente indeterminados (contra sistemas determinados) | |
| principios ECONÓMICOS | Regularidad de la articulación estructural y simetría de las funciones parciales de la estructura | 8 | Regularidade da articulação estrutural e simetria das funções dos componentes estruturais | principios ECONÔMICOS |
| | Equilibrio de las cargas de los componentes estructurales con funciones iguales o similares | 9 | Equilíbrio de cargas entre os elementos com funções estruturais iguais ou relacionadas | |
| | Imposición de dos o más funciones estructurales a los componentes de la estructura | 10 | Imposição de duas ou mais funções estruturais para o único elemento componente | |

## Relación conceptual entre edificio y estructura
## Relação conceptual entre edifício e estrutura




La interpretación de lo que es un EDIFICIO en su globalidad no es sencilla. El motivo de ello es que la realidad de un edificio consiste en un complejo de 3 AGENTES CONSTITUYENTES:
FUNCIÓN - FORMA - TÉCNICA

Si bien los tres pueden aislarse entre sí, también es cierto que se condicionan mútuamente, ya que para su materialización dependen unos de otros.

Cada uno de ellos se manifiesta a través de contenidos concretos: DETERMINANTES.
Su totalidad es la realidad del edificio. Uno de los condicionantes es la ESTRUCTURA.

Cada estructura se caracteriza por sus 3 COMPONENTES:
Flujo de FUERZAS - GEOMETRÍA - MATERIAL

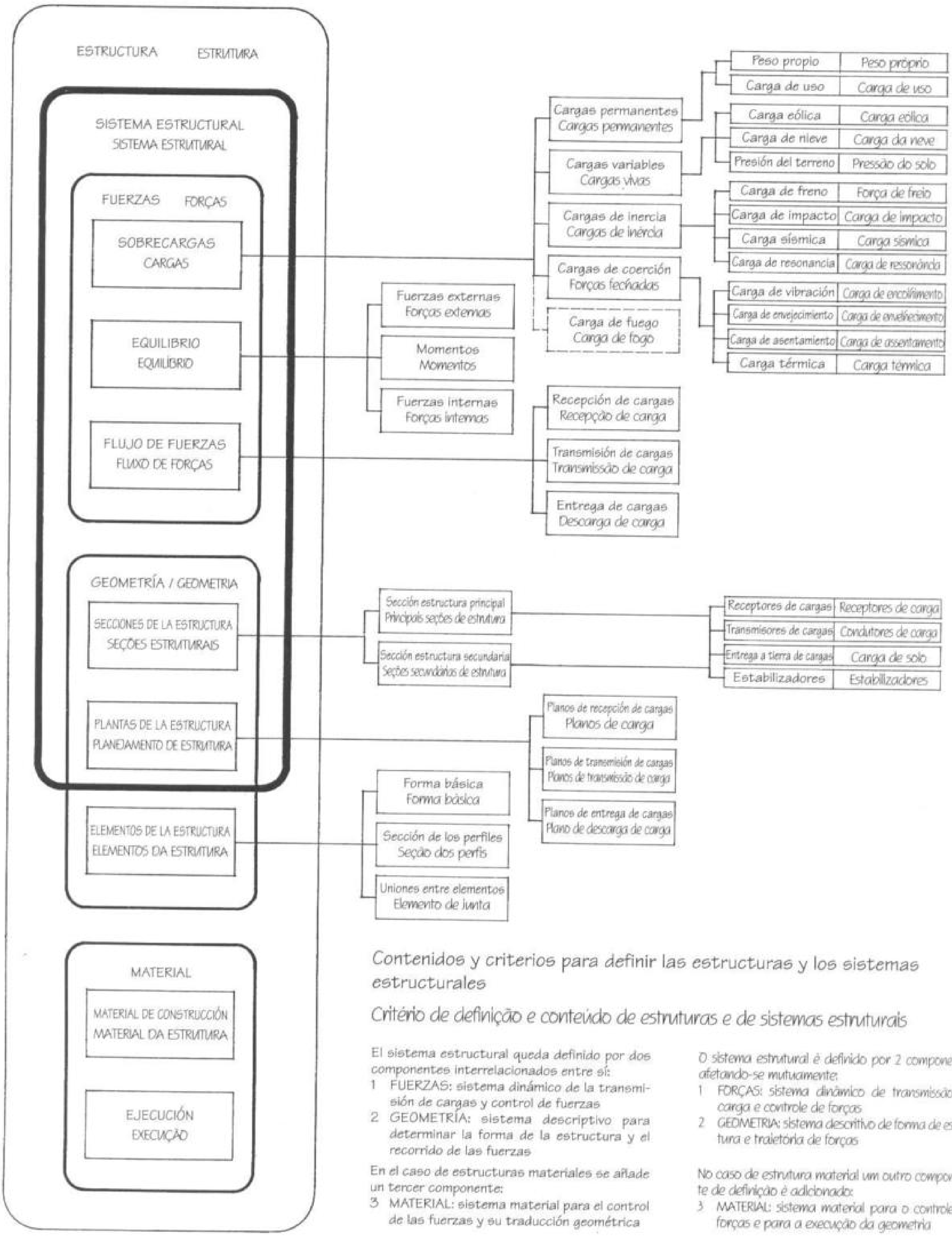



A CONSTRUÇÃO como uma noção absoluta ilude qualquer interpretação simples. A razão para isso é que a realidade da construção consiste em um complexo de 3 AGENTES CONSTITUINTES: FUNÇÃO . FORMA . TÉCNICA

Os 3 agentes constituintes, embora cada um tenha a sua própria identidade, condicionam um ao outro em que para sua materialização um depende dos outros dois.

Cada agente constituinte atua através de um conjunto de conteúdos concretos: DETERMINANTES.
Sua soma total é a realidade da construção. Um dos determinantes é a ESTRUTURA.

Cada uma das estruturas é positivamente definida através de seus 3 COMPONENTES: Fluxo de FORÇAS – GEOMETRIA – MATERIAL




## Contenidos y criterios para definir las estructuras y los sistemas estructurales

## Critério de definição e conteúdo de estruturas e de sistemas estruturais

El sistema estructural queda definido por dos componentes interrelacionados entre sí:

1 FUERZAS: sistema dinámico de la transmisión de cargas y control de fuerzas
2 GEOMETRÍA: sistema descriptivo para determinar la forma de la estructura y el recorrido de las fuerzas

En el caso de estructuras materiales se añade un tercer componente:

3 MATERIAL: sistema material para el control de las fuerzas y su traducción geométrica

O sistema estrutural é definido por 2 componentes afetando-se mutuamente:

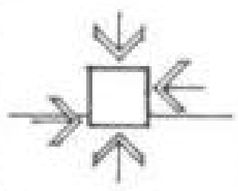
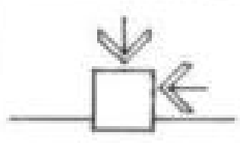
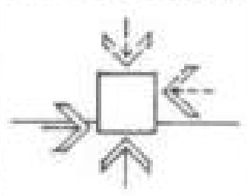
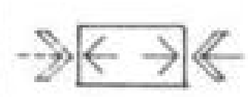
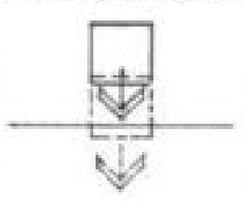
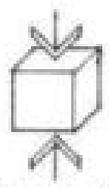
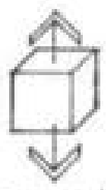
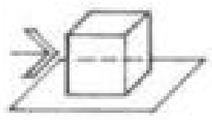
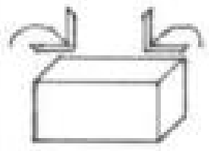
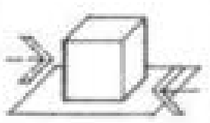
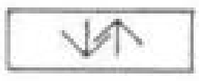
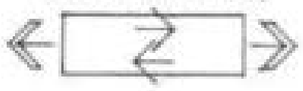
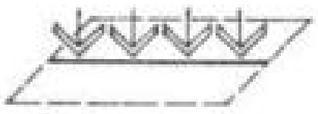
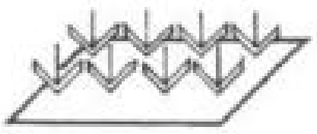
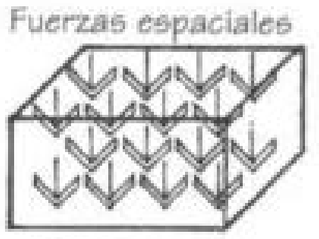
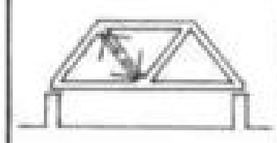
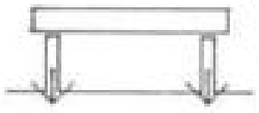
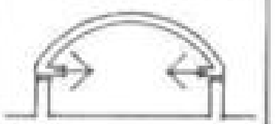
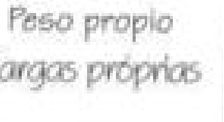
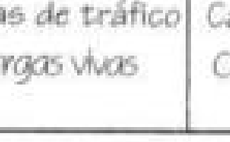
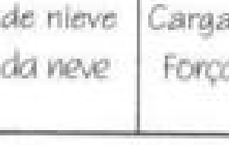
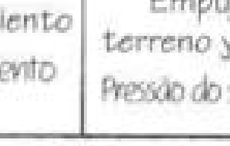
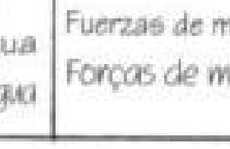
1 FORÇAS: sistema dinâmico de transmissão de carga e controle de forças
2 GEOMETRIA: sistema descritivo de forma de estrutura e trajetória de forças

No caso de estrutura material um outro componente de definição é adicionado:

3 MATERIAL: sistema material para o controle de forças e para a execução da geometria

## Multiplicidad de fuerzas en la estructura / Denominaciones

## Diversidade de forças em estrutura / Denominações

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | TIPOS<br>TIPOS | Fuerzas externas<br>  <br>Forças externas | Fuerzas internas<br> <br>Forças internas | Fuerzas cortantes<br> <br>Forças cortantes | Fuerzas activas<br>  <br>Forças atuantes | Fuerzas de reacción<br>  <br>Forças reativas | Fuerzas de resistencia<br>  <br>Forças resistentes | Fuerzas gravitatorias<br>  <br>Forças gravitacionais |
| 2 | ESFUERZOS<br>TENSÃO | Compresiones<br>  <br>Forças de compressão | Tracciones<br>  <br>Forças de tração | Empujes<br>  <br>Forças de empuxo | Cizallamientos<br> <br>Forças cortantes | Torsiones<br> <br>Forças de torção | Flexiones<br>  <br>Forças de Flexão | Rozamientos<br>  <br>Forças de fricção | Esfuerzos de membrana<br> <br>Forças de membrana |
| 3 | DIRECCIÓN<br>DIREÇÃO | Fuerzas horizontales<br> <br>Forças horizontais | Fuerzas verticales<br> <br>Forças verticais | Fuerzas oblicuas<br> <br>Forças oblíquas | Fuerzas transversales<br>  <br>Forças transversais | Fuerzas normales (longitudinales)<br>  <br>Forças normais | | | |
| 4 | DISTRIBUCIÓN<br>DISTRIBUIÇÃO | Fuerzas puntuales<br> <br>Forças pontuais | Fuerzas lineales<br>  <br>Forças lineares | Fuerzas superficiales<br>  <br>Forças planas | Fuerzas espaciales<br>  <br>Forças espaciais | | | | |
| 5 | DURACIÓN<br>DURAÇÃO | Fuerzas estáticas<br>Forças estáticas | Cargas permanentes<br>Cargas próprias | Cargas de tráfico<br>Cargas vivas | Fuerzas dinámicas<br>Forças dinâmicas | Fuerzas móviles<br>Forças de movimento | Fuerzas de resonancia<br>Forças de ressonância | | |
| 6 | ELEMENTO ESTRUCTURAL<br>CORPO ESTRUTURAL | Fuerzas de barras<br>  <br>Forças de barra | Fuerzas de cables<br> <br>Forças de cabo | Fuerzas de pilares<br>  <br>Forças de estaca | Fuerzas de apoyos<br> <br>Forças de suporte | Fuerzas de arcos<br> <br>Forças de arco | Fuerzas de anclajes<br>  <br>Forças de âncora | (Otras)<br>→<br>(Outras) | |
| 7 | GEOMETRÍA<br>GEOMETRIA | Fuerzas anulares<br>  <br>Forças de aro | Fuerzas meridianas<br>  <br>Forças meridionais | Fuerzas de corona<br>  <br>Forças de coroa | Fuerzas de borde<br>  <br>Forças de borda | Fuerzas radiales<br>  <br>Forças radiais | (Otras)<br>→<br>(Outras) | | |
| 8 | CAUSA<br>INDUÇÃO | Peso propio<br>Cargas próprias | Cargas de tráfico<br>Cargas vivas | Cargas de nieve<br>Cargas da neve | Cargas de viento<br>Forças do vento | Empuje del terreno y el agua<br>Pressão do solo / água | Fuerzas de masas<br>Forças de massa | Fuerzas de coerción<br>Forças fechadas | |

Las estructuras son mecanismos para la delimitación y conducción de los esfuerzos producidos por las acciones. Se definen mediante 4 condiciones específicas de cada edificación:

1 Peso propio del edificio y de su sobrecarga de uso
2 Tipo de uso (efectos debidos al uso) del edificio
3 Características y articulación del material del edificio
4 Influencias y particularidades del lugar y de su entorno

Dos conceptos sobre la mecánica de fuerzas rigen el proyecto estructural

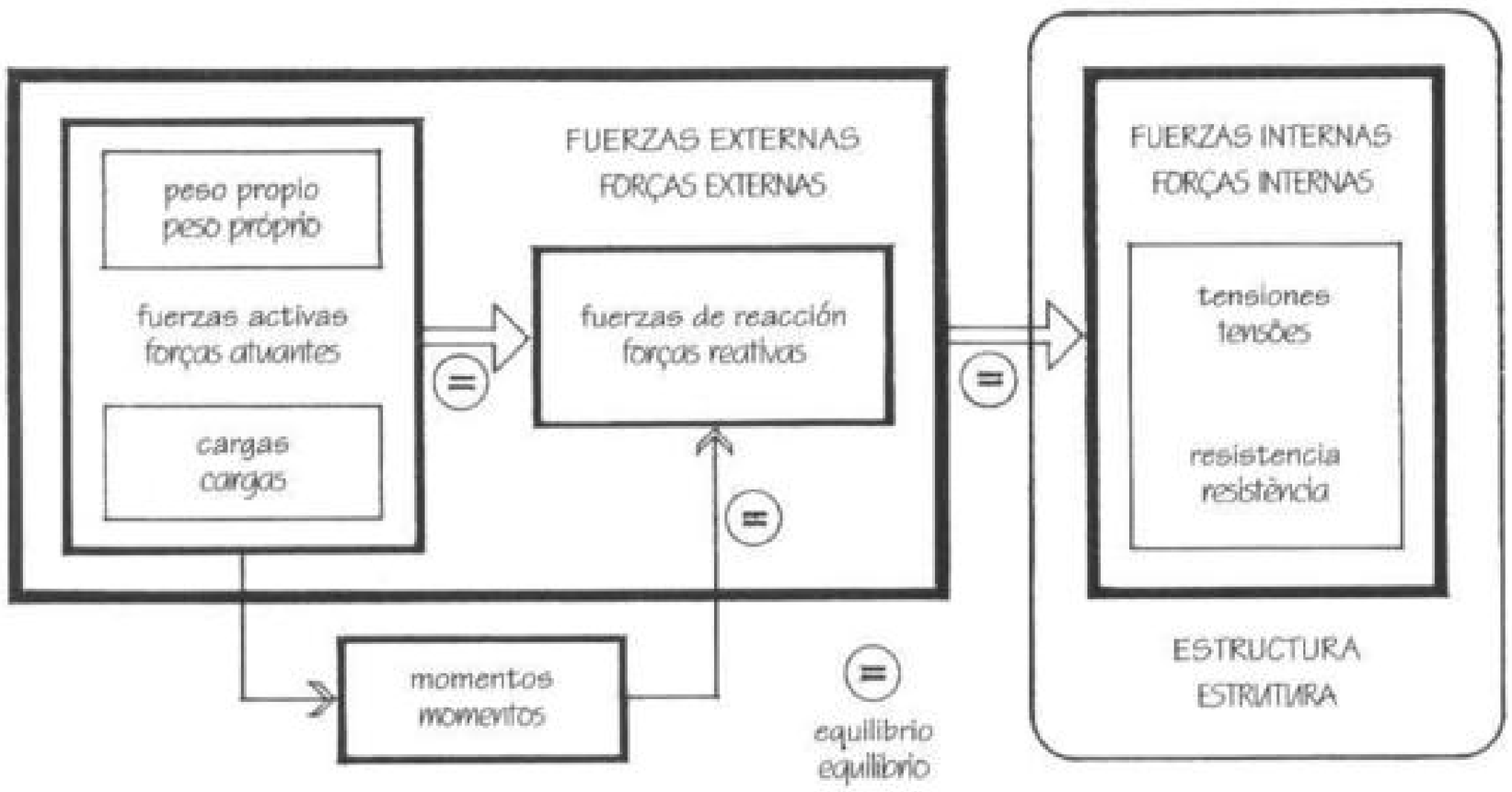
+ las fuerzas FLUYEN a través de la estructura y se ENTREGAN a tierra
+ las fuerzas PERMANECEN FIJAS en equilibrio mediante FUERZAS EN SENTIDO CONTRARIO y son ESTÁTICAS

As estruturas são dispositivos para compelir e guiar as forças. Essas forças são determinadas por 4 condições específicas para cada construção:

1 Peso da construção e de suas cargas vivas (utilitárias)
2 Tipo de utilização (conseqüências do uso) da construção
3 Propriedades e articulação do material construído
4 Influências e condições do sítio e seu entorno

Dois conceitos sobre operação de forças guiam o projeto de estruturas:

+ as forças 'FLUEM' através da estrutura e são DESCARREGADAS na terra
+ as forças 'PERMANECEM FIXAS' em equilíbrio através de forças contrárias e são ESTÁTICAS




## Prerrequisitos de la teoría de estructuras

El tema fundamental a la hora de diseñar y dimensionar una estructura es alcanzar un:

EQUILIBRIO DE FUERZAS

Se ha de proyectar y dimensionar una estructura que resista las fuerzas actuantes, es decir, que movilice reacciones opuestas que garanticen el equilibrio.

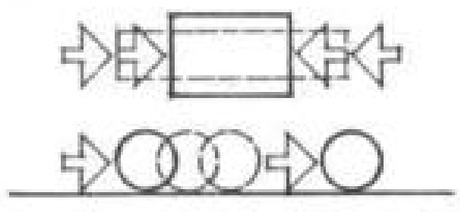
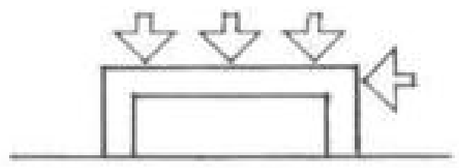
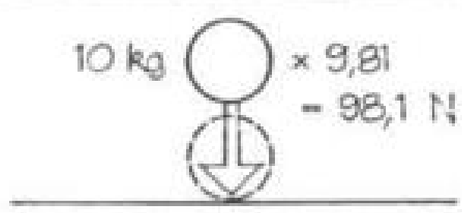
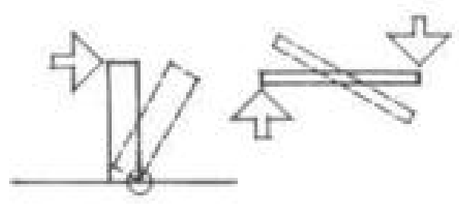
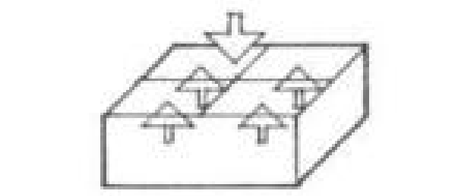
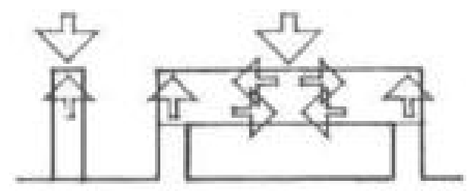
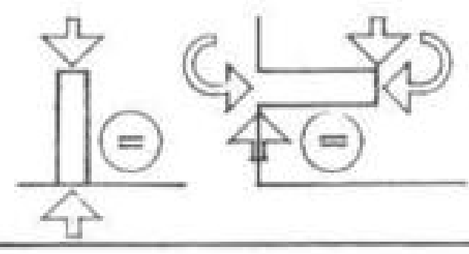
## Pré-requisito da teoria das estruturas

O tema central no projeto criativo e via análise de estruturas é:

EQUILÍBRIO DE FORÇAS

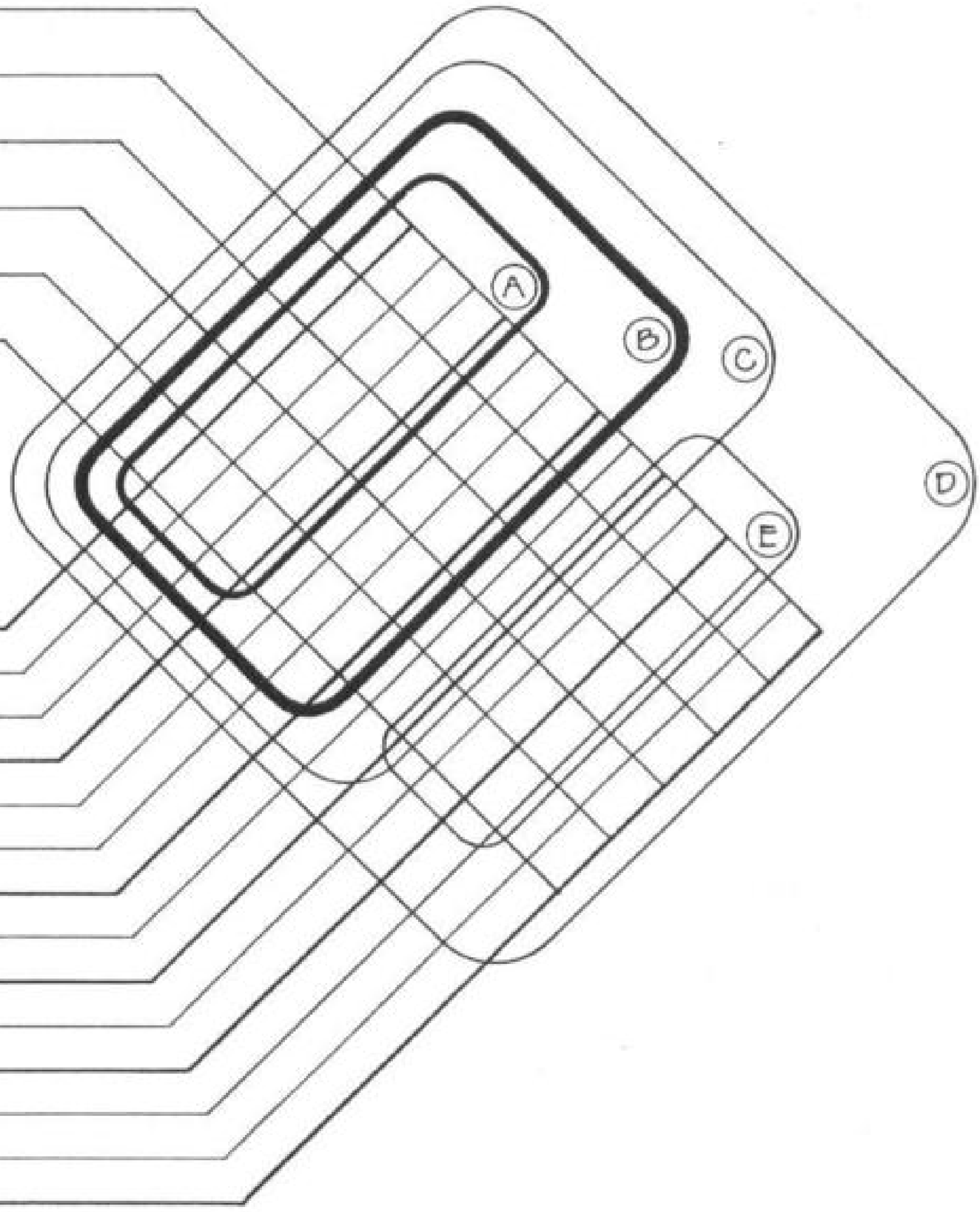
A imagem da estrutura deve ser projetada e dimensionada de uma maneira que resista as forças atuantes, isto é, mobilizando forças opostas que asseguram o equilíbrio.

## Conceptos fundamentales del comportamiento de las estructuras — Conceitos essenciais no comportamento das estruturas

| | | |
|---|---|---|
|  | FUERZA<br>es la magnitud que lleva a un cuerpo a moverse o a modificar su estado (o su forma) | FORÇA<br>é a grandeza que faz com que um sólido se mova ou mude sua posição ou estado (ou sua forma) |
|  | CARGAS<br>son las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo, exceptuando las fuerzas de reacción a través de los apoyos del cuerpo | CARGAS<br>são as forças que agem sobre um sólido desde o exterior, com exceção das forças reativas emanadas dos suportes do sólido |
|  | PESO PROPIO<br>es la fuerza con la que la masa de la Tierra atrae a un cuerpo en relación directa a su masa/ = peso | FORÇA GRAVITACIONAL<br>é a força pela qual a massa da Terra consegue uma sólida adequação à quantidade de sua massa / = peso |
|  | MOMENTO<br>es el movimiento de giro que origina un par de fuerzas o una fuerza cuyo punto de giro no coincide con la dirección de la fuerza | MOMENTO<br>é o movimento giratório induzido por um par, ou exercido por uma força em um sólido, cujo centro de movimento está fora da direção da força |
|  | TENSIÓN<br>es la fuerza (resistencia) interna por unidad de superficie que se origina en un cuerpo debido a la acción de una fuerza externa | TENSÃO<br>é a força de resistência interna por unidade de área, que é mobilizada em um sólido através da ação de uma força externa |
|  | RESISTENCIA<br>es la fuerza con la que se opone un cuerpo a un desplazamiento o un cambio de forma a causa de la acción de una fuerza externa/= fuerza de resistencia | RESISTÊNCIA<br>é a força pela qual um sólido resiste a uma deformação ou movimento induzido pela ação de uma força externa / = força de resistência |
|  | EQUILIBRIO<br>es el estado en que la suma de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo no origina ningún movimiento, es decir, los movimientos son iguales a cero | EQUILÍBRIO<br>é o estado no qual a soma total das forças agindo sobre um sólido não produz nenhum movimento, significando que ela é igual a zero |

| | |
|---|---|
| Fuerza = masa x aceleración | Força = massa x aceleração |
| $F = m \times a$ | N / kN |
| Carga = fuerzas actuantes | Carga = força atuante |
| $C = F_A = m_A \times a$ | N / kN |
| Peso propio = masa x atracción gravitatoria | Força da gravidade = massa x gravidade |
| $G = m \times 9{,}81\ m/s^2$ | N / kN |
| Momento = fuerza x brazo de palanca | Momento = força x braço da alavanca |
| $M = F \times b$ | (kN) Nm |
| Tensión = fuerza ÷ superficie | Tensão = força ÷ área |
| $\sigma = F \div A$ | (kN) N/cm² |
| Resistencia = fuerza de reacción | Resistência = força de resistência |
| $R = F_A = m \times a$ | N / kN |
| Suma de las fuerzas y momentos = 0 | Soma total de forças e momentos = 0 |
| $\sum F + M = 0$ | |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sistemas de FORMA activa | Sistemas de FORMA-ativa |
| 2 | Sistemas de VECTOR activo | Sistemas de VETOR-ativo |
| 3 | Sistemas de SECCIÓN activa | Sistemas de SEÇÃO-ativa |
| 4 | Sistemas de SUPERFICIE activa | Sistemas de SUPERFÍCIE-ativa |
| 5 | Sistemas de ALTURA activa | Sistemas de ALTURA-ativa |




## Teoría de las estructuras: temas, relaciones, divisiones
## Teoria das estruturas: temas, referência, articulações

| | | |
|---|---|---|
| GEOMETRÍA<br>GEOMETRIA | Volumen del espacio | Volume espacial |
| | Cerramiento del espacio | Forma do fechamento |
| | Forma de la cimentación | Forma da base |
| MECÁNICA<br>MECÂNICA | Cargas | Cargas |
| | Equilibrio | Equilíbrio |
| | Flujo de fuerzas | Fluxo de forças |
| MATERIAL<br>MATERIAL | Material de construcción | Material de construção |
| | Química de la construcción | Química da construção |
| ESTÁTICA<br>ANÁLISE ESTRUTURAL | Elementos estructurales | Unidade estrutural |
| | Partes estructurales | Componentes estruturais |
| CONSTRUCCIÓN<br>CONSTRUÇÃO | Elementos de unión | Junta de conexão |
| | Física de la construcción | Construção física |
| | Método de construcción | Método construtivo |

## Niveles de conceptos estructurales: definiciones

Ⓐ Primera idea estructural
= Forma característica de la esencia del edificio que garantiza la configuración y la conservación de su perfil
= Geometría determinante de la materialización de la forma y el espacio arquitectónicos

Ⓑ Sistema estructural
= Esquema de operaciones y actuación para la transmisión y desviación de las fuerzas del edificio
= Geometría básica para la mecánica del equilibrio de fuerzas en el edificio

Ⓒ Estructura
= Totalidad de las partes de un edificio que cumplen una función estructural
= Concreción del sistema estructural (o primera idea estructural)
= Parte de la esencia del edificio que garantiza la conservación de la forma y que, con ello, asegura la satisfacción de la función

Ⓓ Construcción estructural
= Realidad tecnológica de la estructura como construcción autónoma de ingeniería
= Conjunto técnico para el control de las fuerzas que actúan sobre el edificio, como complejo de elementos individuales y como mecanismo conjunto

Ⓔ Modelo estructural
= Articulación interna de la construcción estructural
= Modelo de ordenación para la relación de los elementos de la estructura de un edificio

## Nível de conceitos de estrutura: definições

Ⓐ Imagem da estrutura
= Forma característica daquela substância de construção, a qual, concede e preserva a forma da construção
= Geometria determinante que materializa a forma arquitetônica / conceito de espaço

Ⓑ Sistema estrutural
= Esquema operacional e ilustrado para redistribuição e transmissão de forças dentro da construção
= Base geométrica para os mecanismos de equilíbrio de forças dentro da construção

Ⓒ Estrutura
= Soma total de todas as partes da construção que atuam como função de suporte
= Sistema de estrutura substanciada (ou imagem de estrutura)
= Um agente da essência da construção que concede preservação da forma e cumprimento da função

Ⓓ Tecido estrutural
= Realidade tecnológica das estruturas de construção como engenharia de construção autônoma
= Tecido técnico de controle das forças que agem na construção, funcionando mutualmente como complexo das partes individuais e do mecanismo integral

Ⓔ Modelo estrutural
= Articulação interna do tecido da estrutura
= Disposição ordenada para as interligações dos componentes estruturais individuais do edifício

## Causalidad y función de las estructuras en la edificación

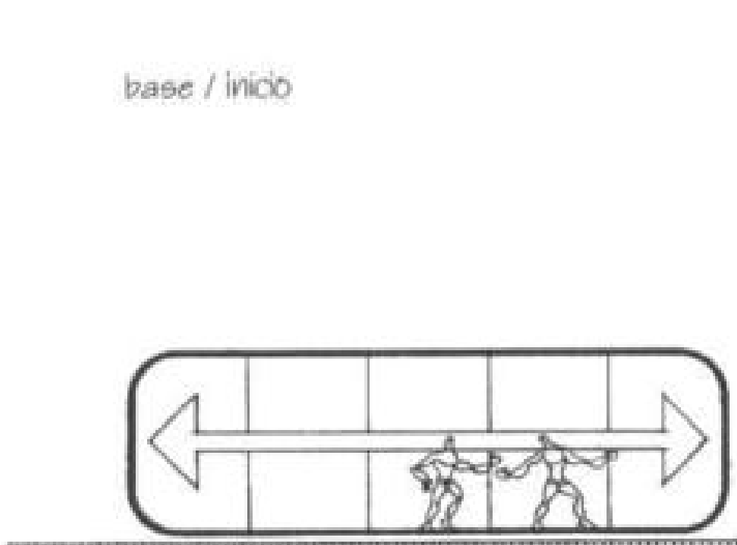
como base
para una clasificación sistemática y una ordenación formal
de los sistemas de estructuras

## Causalidade e função de estruturas na construção

como base
para uma classificação mais apurada e para inspirar ordem
nos sistemas estruturais

Las actividades del hombre se desarrollan fundamentalmente sobre un plano horizontal y necesitan que el espacio delimitado se extienda, sobre todo, en horizontal

base / início



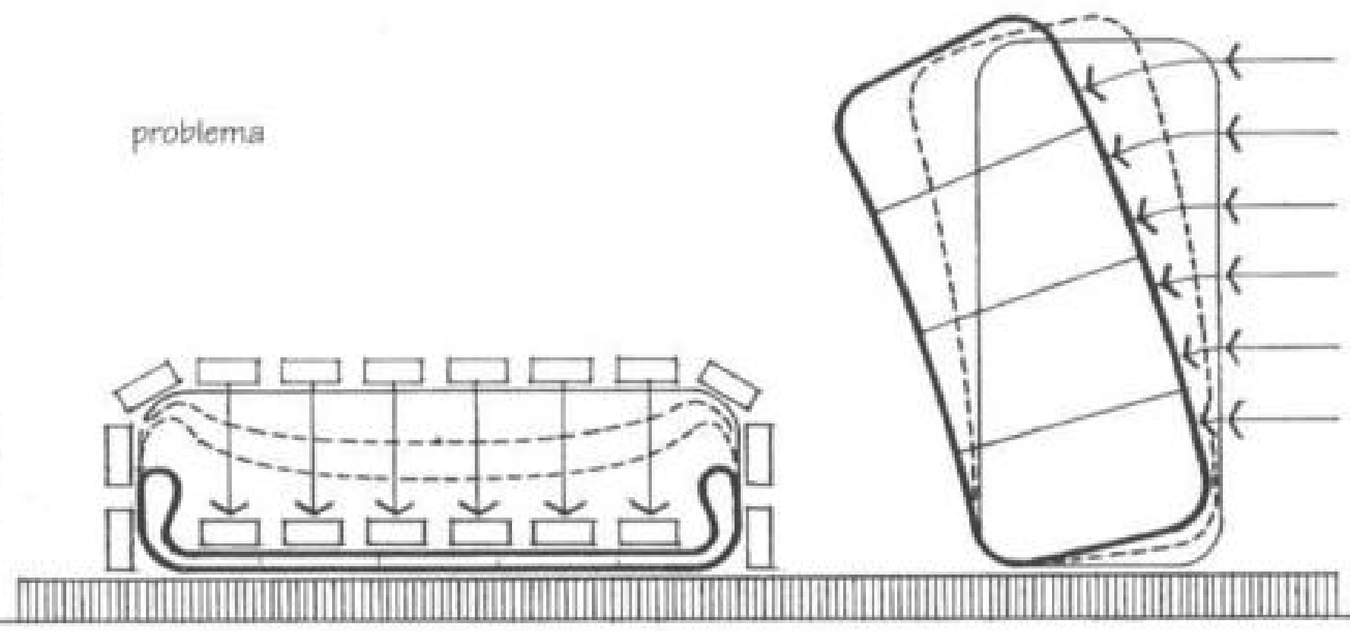
Las actividades del hombre necesitan espacios altos no sólo para mayor libertad de movimiento, sino, sobre todo, para multiplicar las superficies útiles horizontales sobre el suelo

As atividades do homem realizam-se essencialmente num plano horizontal, e por isso exigem predominantemente uma extensão horizontal no espaço fechado

As atividades do homem exigem altura espacial, não só pela liberdade de movimentos, mas especialmente para incrementar a área útil do planeta

La sustancia de la envolvente espacial, debido a la atracción de la gravedad, desarrolla en cada elemento una dinámica vertical que tiende a anular el volumen espacial

problema



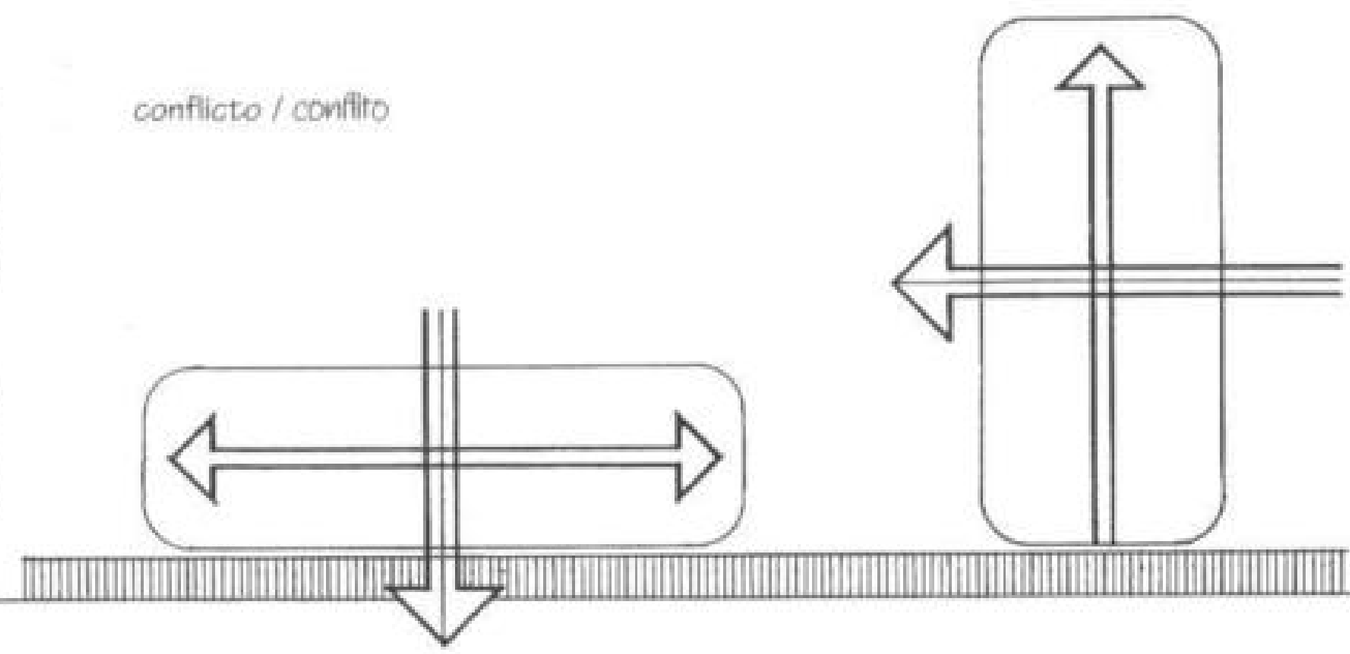
La extensión en vertical, debido a la creciente carga del viento, expone la envolvente del espacio a una dinámica horizontal que tiende a deformar la geometría del volumen espacial

A substância do espaço fechado, por causa da gravidade, desenvolve dinâmicas verticais para cada parte componente com tendência a eliminar a extensão espacial

A extensão vertical devido ao aumento da carga do vento expõe o espaço fechado à dinâmicas horizontais que tendem a mudar a geometria do volume espacial

El conflicto entre las dos direcciones, la de la atracción gravitatoria y la de las actividades del hombre, es la causa primigenia de la necesidad de estructuras en la edificación

conflicto / conflito



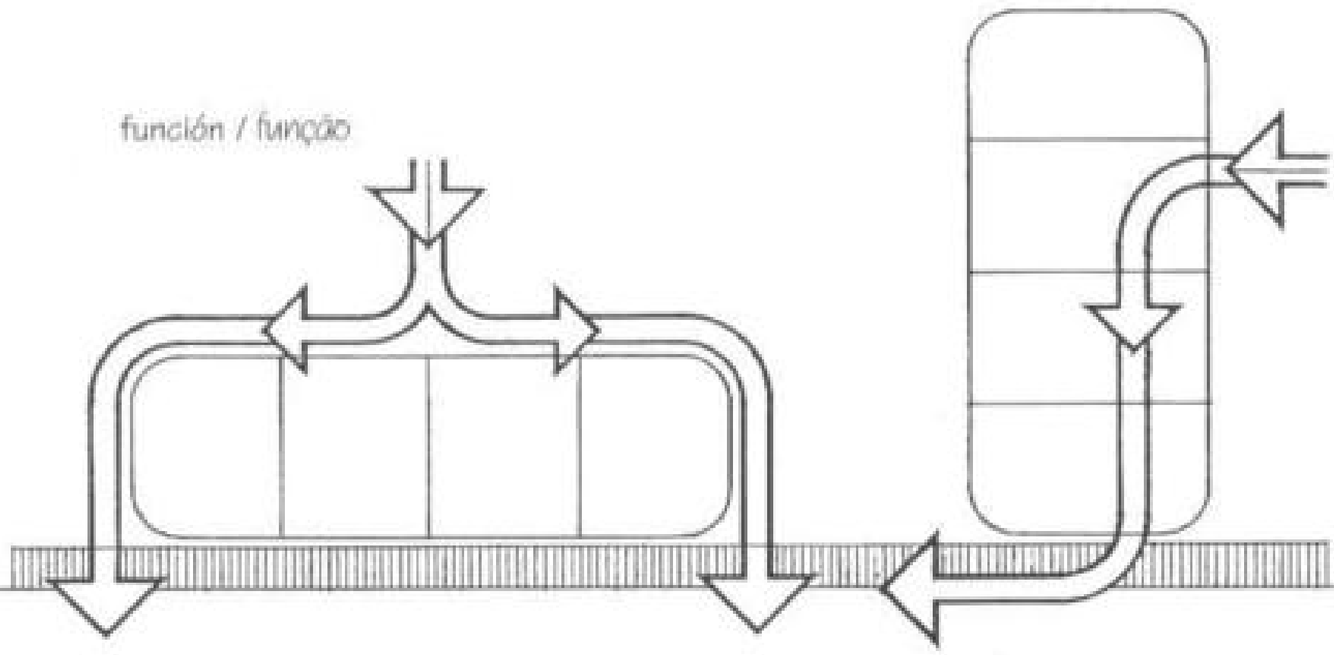
El conflicto entre las dos direcciones, la de la carga eólica y la debida al crecimiento en altura del edificio, es la segunda causa de la necesidad de estructuras en la edificación

O conflito de duas direções de força gravitacional e das atividades dinâmicas do homem é a primeira causa da necessidade das estruturas em construção

O conflito de duas direções de carga do vento e extensão de altura do espaço fechado é a segunda causa da necessidade das estruturas em construção

Mediante las estructuras se redirigen los pesos propios en dirección horizontal y, de acuerdo con los requisitos del volumen espacial, se transmiten al suelo

función / função



Mediante las estructuras se transforman las cargas de viento en esfuerzos verticales y se transmiten al suelo según los requisitos del volumen espacial

Através das estruturas as forças gravitacionais ativas serão redistribuídas em direção horizontal e, de acordo com as exigências do volume de espaço, serão transmitidas ao solo

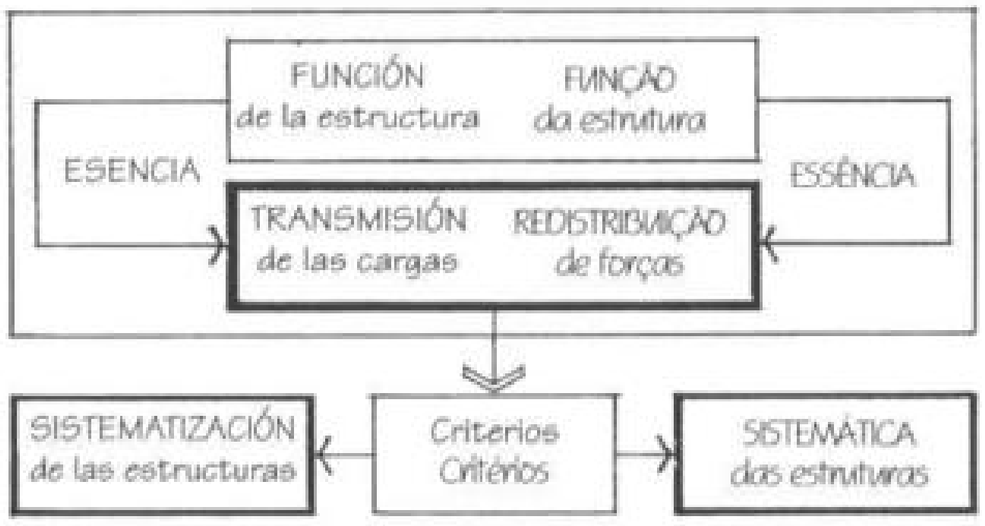
Através das estruturas as forças atuantes do vento serão redistribuídas em direção vertical e, de acordo com as exigências do volume de espaço, serão transmitidas ao solo

## Ideas básicas y criterios para la elaboración de una sistematización de las estructuras

Para hacer comprensibles las especialidades complejas, lo mejor es llevar a cabo una:
SISTEMATIZACIÓN de su contenido

Sistematizar una especialidad es clave si se deriva de la verdadera ESENCIA DEL TEMA

La esencia de la estructura es su función:
TRANSMITIR CARGAS




## Idéia central e critérios para a formação de uma sistemática das estruturas

Temas complexos tornam-se mais acessíveis através da classificação de seus conteúdos:
SISTEMÁTICA

A sistemática de um tema é racional se derivada da pura ESSÊNCIA DO PRÓPRIO TEMA

A essência da estrutura é sua função:
REDISTRIBUIÇÃO DE FORÇAS

### Sistematización de las estructuras en la edificación

Para la transmisión de las cargas actuantes a través de elementos materiales existen 4 mecanismos típicos en la naturaleza y en la técnica:

1 Adaptación a las fuerzas → acción de la FORMA
2 Subdivisión de las fuerzas → acción VECTORIAL
3 Confinamiento de las fuerzas → acción de la SECCIÓN transv.
4 Dispersión de las fuerzas → acción de las SUPERFICIES

En la edificación se añade, además, un mecanismo atípico de orden superior:

5 Recoger y transmitir las cargas al suelo → acción en ALTURA

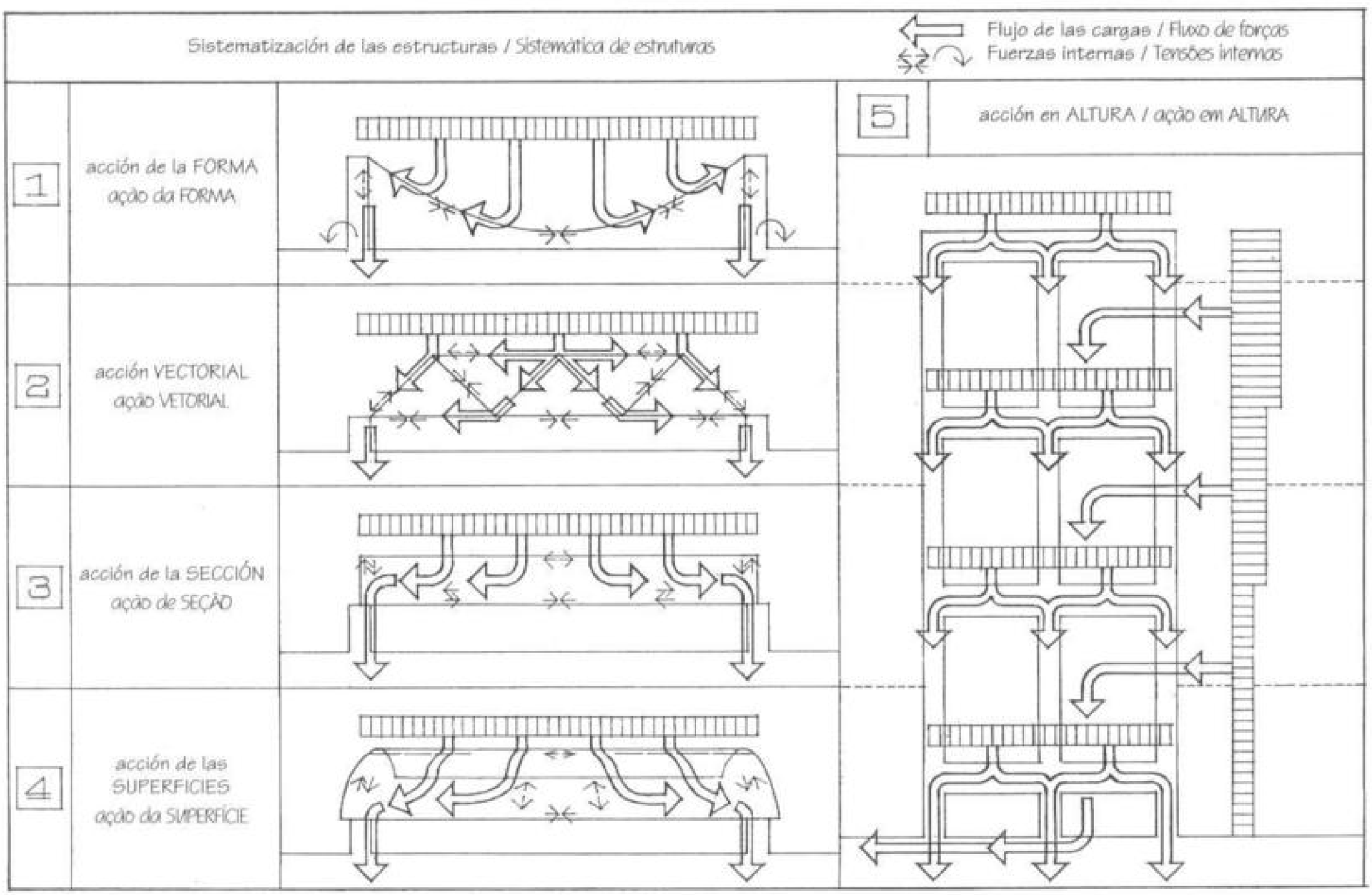
### Sistemática das estruturas em construção

Para a redistribuição de forças atuantes através da substância natural e técnica observa-se 4 mecanismos diferentes:

1 Ajustamento de forças → ação da FORMA
2 Separação de forças → ação VETORIAL
3 Confinamento de forças → ação de SEÇÃO CRUZADA
4 Dispersão de forças → ação da SUPERFÍCIE

Em construção deve ser incluída como um mecanismo diametral atípico:

5 Coleta e captação de cargas → ação em ALTURA




El alcance de la teoría de estructuras, la aplicación creativa de sus formas y su lenguaje espacial en los proyectos de arquitectura requiere, por lo tanto:

- conocimiento de los mecanismos que redirigen las fuerzas en otras direcciones
- conocimiento de las geometrías estructurales para generar formas y espacios

A apreensão do domínio das estruturas e da aplicação criativa de suas linguagens formais e espaciais dentro do projeto arquitetônico exigem:

- conhecimento do mecanismo que faz a força mudar suas direções
- conhecimento de uma estrutura geométrica válida para a geração de forma e espaço

## Clasificación de los sistemas de estructuras en la edificación

## Classificação dos sistemas estruturais na construção

| Criterio / Critério | | Prototipo / Protótipo | Fuerzas / Forças | Característica / Característica | Mecánica de la transmisión de cargas / Mecânica de redistribuição de forças |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | FORMA / FORMA | arco funicular / arco funicular<br>cable suspendido / cabo de suspensão<br>anillo circular / anel circular<br>globo / balão | compresión o tracción / compressão ou tensão | línea de apoyo / linha de empuxo<br>catenaria / catenária<br>círculo / círculo | forma activa / forma-ativa |
| 2 | VECTOR / VETOR | cercha triangular / treliça triangular<br>celosía / viga entreliçada | compresión y tracción / compressão e tensão | triangulación / triangulação | vector activo / vetor-ativo |
| 3 | SECCIÓN TRANSVERSAL / SEÇÃO CRUZADA | viga / viga<br>pórtico / pórtico<br>losa / laje plana | flexión fuerzas cortantes / seção de forças flexionadas | perfil seccional / perfil de seção | sección activa / seção-ativa |
| 4 | SUPERFICIE / SUPERFÍCIE | lámina / placa<br>lámina plegada nervada / placa dobrada<br>membrana cilíndrica / casca cilíndrica | fuerzas de membrana / tensões de membrana | forma bidimensional / forma módulo | superficie activa / superfície-ativa |
| 5 | ALTURA / ALTURA | lámina / laje<br>torre / torre | (condiciones complejas) / (condições complexas) | transmisión de las cargas al suelo / estabilização de carga de solo | altura activa / altura-ativa |

## Clasificación de los sistemas de estructuras en la edificación

## Classificação de sistemas estruturais na construção

| Familia estructural<br>Família de estrutura | | Definición<br>Definição | Tipo de estructura | | Tipo de estrutura |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Sistemas de estructuras de FORMA ACTIVA<br><br>Sistemas estruturais de FORMA-ATIVA | ... son sistemas de material flexible, no rígido, en los que la transmisión de cargas se realiza a través del diseño de una FORMA adecuada y una estabilización característica de la FORMA<br><br>...são sistemas flexíveis, de material não rígido, nos quais a redistribuição de forças é efetuada por um desenho de forma particular e caracterizada pela estabilização da FORMA | 1.1 | estructuras de CABLES | sistemas de CABO |
| | | | 1.2 | estructuras en TIENDA | sistemas de TENDA |
| | | | 1.3 | estructuras NEUMÁTICAS | sistemas PNEUMÁTICOS |
| | | | 1.4 | estructuras de ARCOS | sistemas de ARCO |
| 2 | Sistemas de estructuras de VECTOR ACTIVO<br><br>Sistemas estruturais de VETOR-ATIVO | ... son sistemas de elementos lineales cortos, sólidos y rectos (barras), en los que la transmisión de fuerzas se realiza mediante descomposición VECTORIAL, es decir, a través de una subdivisión en fuerzas unidireccionales (compresiones o tracciones)<br><br>... são sistemas de componentes lineares curtos, sólidos, retos (barras) nos quais a redistribuição de forças é efetuada por divisória de VETOR, ou seja, por separações multidirecionais de forças singulares (barras de compressão ou tensão) | 2.1 | cerchas planas | treliças planas |
| | | | 2.2 | cerchas planas combinadas | treliças planas combinadas |
| | | | 2.3 | cerchas curvas | treliças curvas |
| | | | 2.4 | mallas espaciales | treliças espaciais |
| 3 | Sistemas de estructuras de SECCIÓN ACTIVA<br><br>Sistemas estruturais de SEÇÃO-ATIVA | ... son sistemas de elementos lineales rígidos y macizos –incluida su compactación como losa– en los que la transmisión de cargas se efectúa a través de la movilización de fuerzas SECCIONALES<br><br>... são sistemas de elementos lineares rígidos, sólidos – incluindo suas formas compactas como a laje – nos quais a redistribuição de forças é efetuada pela mobilização das forças SECIONAIS (internas) | 3.1 | estructuras de VIGAS | sistemas de VIGAS |
| | | | 3.2 | estructuras de PÓRTICOS | sistemas de PÓRTICOS |
| | | | 3.3 | estructuras de RETÍCULA DE VIGAS | sistemas de MALHA DE VIGAS |
| | | | 3.4 | estructuras de LOSAS | sistemas de LAJES |
| 4 | Sistemas de estructuras de SUPERFICIE ACTIVA<br><br>Sistemas estruturais de SUPERFÍCIE-ATIVA | ... son sistemas de superficies flexibles, pero resistentes a tracciones, compresiones y esfuerzos cortantes, en los que la transmisión de fuerzas se realiza a través de la resistencia de las SUPERFICIES y una determinada forma de las SUPERFICIES<br><br>... são sistemas de planos flexíveis, mas resistentes à compressão, tensão, cortes, nos quais a redistribuição de forças é efetuada pela resistência da SUPERFÍCIE e forma particular de SUPERFÍCIE | 4.1 | estructuras de LÁMINAS | sistemas de PLACAS |
| | | | 4.2 | estructuras de LÁMINAS PLEGADAS | sistemas de PLACAS DOBRADAS |
| | | | 4.3 | estructuras de MEMBRANAS | sistemas de CASCA |
| 5 | Sistemas de estructuras de ALTURA ACTIVA<br><br>Sistemas estruturais de ALTURA-ATIVA | ... son sistemas en los que la transmisión de fuerzas debidas a su extensión en altura, es decir, el conjunto de las cargas de las plantas y el viento junto con la reacción del suelo, se realiza mediante las adecuadas estructuras EN ALTURA: RASCACIELOS<br><br>... são sistemas nos quais a redistribuição de forças necessitada pela extensão da altura, isto é o reagrupamento e fundação das cargas de pavimento e cargas de vento, é efetuada por estruturas a prova de ALTURA: ARRANHA-CÉUS | 5.1 | rascacielos RETICULARES | arranha-céus TIPO MODULAR |
| | | | 5.2 | rascacielos PERIMETRALES | arranha-céus de VÃO LIVRE |
| | | | 5.3 | rascacielos CON NÚCLEO | arranha-céus EM BALANÇO |
| | | | 5.4 | rascacielos PUENTE | arranha-céus TIPO PONTE |

## Directrices para clasificar las estructuras

## Princípios de orientação para a classificação de estruturas

| Disposición / Disposição | Directriz / Princípios de orientação | Ejemplos / Exemplos | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nivel 1 | FAMILIA estructural | Mecanismo de desviación y transmisión de fuerzas | p. e. estructuras de FORMA activa | p. e. estructuras de SECCIÓN activa | p. e. estructuras de ALTURA activa |
| Nivel 2 | TIPO de estructura | Configuración o denominación usual del objeto | estructuras de ARCO / estructuras de TIENDA | estructuras de PÓRTICOS / estructuras de RETÍCULA DE VIGAS | rascacielos con NÚCLEO / rascacielos PUENTE |
| Nivel 3 | ELEMENTO estructural | Características geométricas o constructivas | celosía apoyada / tiendas apuntadas | pórticos de planta / retículas escalonadas | núcleos de carga indirectos / puentes de forjados |
| Nivel 1 | FAMÍLIA de estrutura | Mecanismo de redistribuição e transmissão de forças | (por exemplo) estruturas de FORMA-ativa | (por exemplo) estruturas de SEÇÃO-ativa | (por exemplo) estruturas de ALTURA-ativa |
| Nivel 2 | TIPO de estrutura | Configuração ou denominação do objeto | sistemas de ARCO / sistemas de TENDA | sistemas de PÓRTICOS / sistemas de MALHA DE VIGAS | arranha-céus EM BALANÇO / arranha-céus TIPO PONTE |
| Nivel 3 | ELEMENTO estrutural | Características geométricas ou de construção | estrutura de empuxo / tendas apontadas | pórticos de pavimento / malhas graduadas | carga indireta em balanço / pontes de pavimento |

1er nivel — 5 FAMILIAS de estructuras

Los mecanismos característicos de la desviación y transmisión de cargas son la base para clasificar las estructuras en 5 "familias" de sistemas (con nuevas denominaciones para cada "familia")

2º nivel — 19 TIPOS de estructuras

La siguiente subdivisión en tipos de estructuras se apoya en el nombre usual de las estructuras, basado en su imagen, su construcción o en el elemento estructural característico

3er nivel — 70-80 ELEMENTOS de estructuras

La última diferenciación descansa en la característica geométrica o constructiva del elemento portante. Proporciona una ordenación general de los modelos de estructuras que constituyen una disciplina de formas esencial para proyectar

1º nível — 5 FAMÍLIAS de estrutura

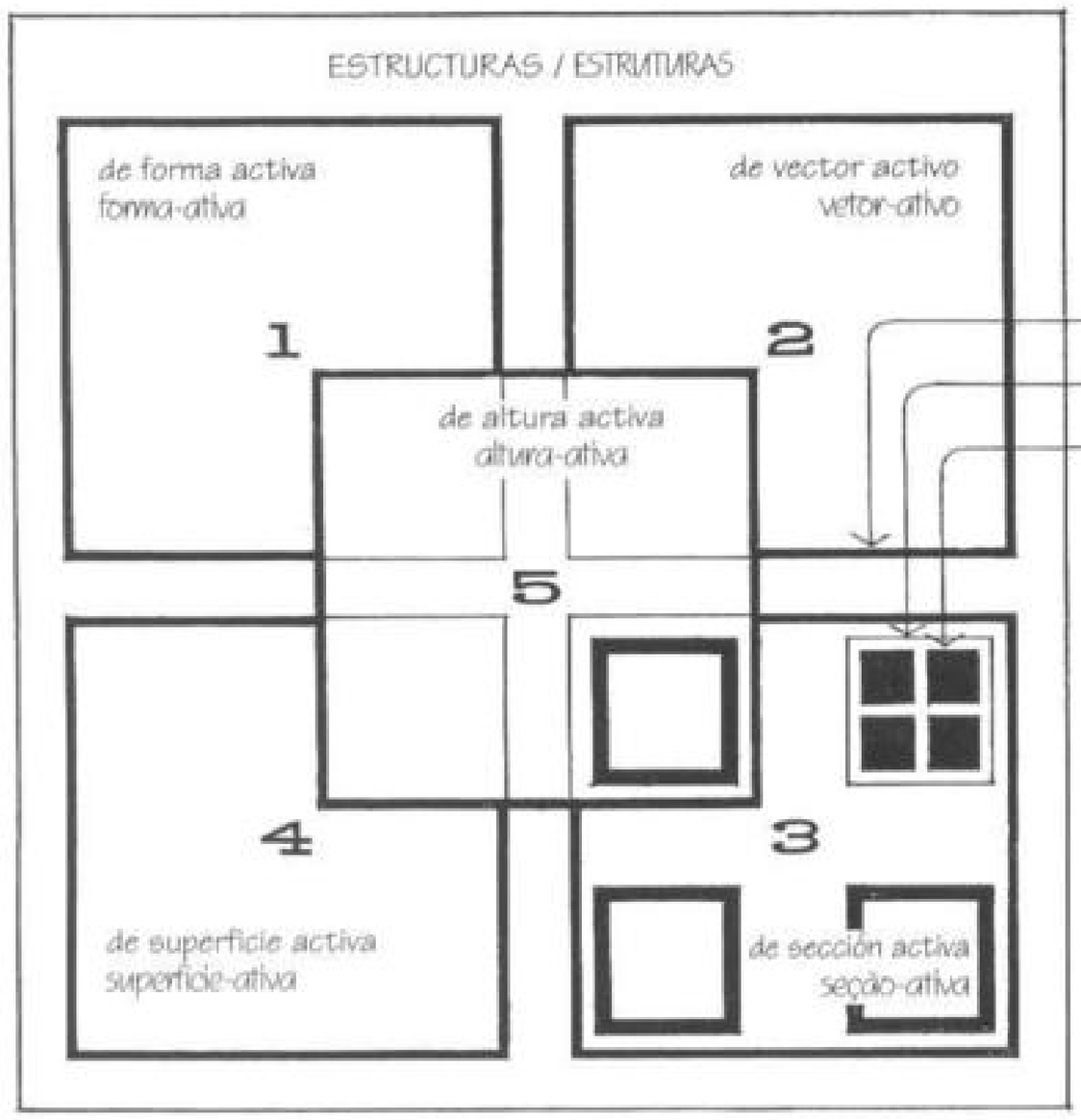
Os mecanismos característicos de redistribuição e transmissão de forças formam as bases para a principal subdivisão das estruturas em 5 famílias de sistema (com novas denominações para cada família)

2º nível — 19 TIPOS de estrutura

A divisão subsequente em tipos de estruturas utiliza as denominações convencionais de estruturas que são derivadas da configuração, da composição técnica ou do elemento estrutural característico

3º nível — 70 - 80 estruturas INDIVIDUAIS

A diferenciação final baseia-se na característica geométrica ou de construção do corpo estrutural. Ela apresenta uma ordem extensa de modelo de estruturas que constitui uma disciplina das formas essenciais no projeto




## Esquema de organización para clasificar las estructuras
## Quadro de organização para a classificação das estruturas

FAMILIA estructural / FAMÍLIA de estrutura 1 - 5

TIPO estructural / TIPO de estrutura 1.1 - 5.4

ELEMENTO estructural / estrutura INDIVIDUAL 1.1.1 - 5.4.3

Estructuras de altura activa

Entre las "familias" de estructuras, las de altura activa son una excepción, pues su diferencia no se basa en un mecanismo especial de transmisión de las cargas, como en el resto de las "familias", sino en una función estructural especial: recoger y transmitir al suelo las cargas de los forjados, estabilizar los elementos de la estructura frente al viento y otras acciones. Para cumplir esta función, la 5ª "familia" utiliza los mecanismos de las otras 4 "familias"

Estruturas de altura-ativa

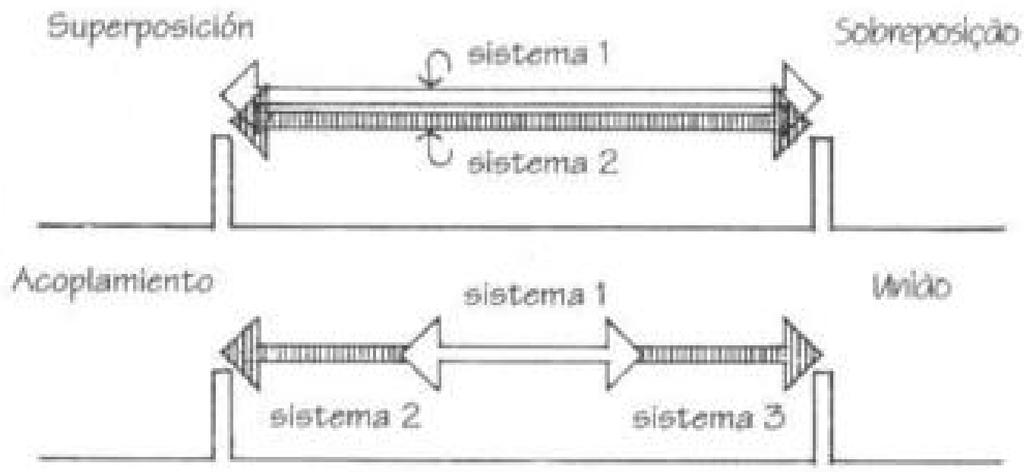
Entre as 'famílias' de estruturas, as estruturas de altura-ativa constituem-se em uma exceção. Por isso sua distinção não está baseada em um organismo específico de redistribuição de forças, como é o caso de todas as outras 'famílias', mas na particular função estrutural: reagrupamento e fundação de cargas dos pavimentos; estabilização do corpo de estruturas contra o vento e outras cargas perturbadoras. Para a realização desta função a 5ª 'família' utiliza mecanismos de todas as outras 4 'famílias'

## Sistemas estructurales en combinación: estructuras híbridas

Definición

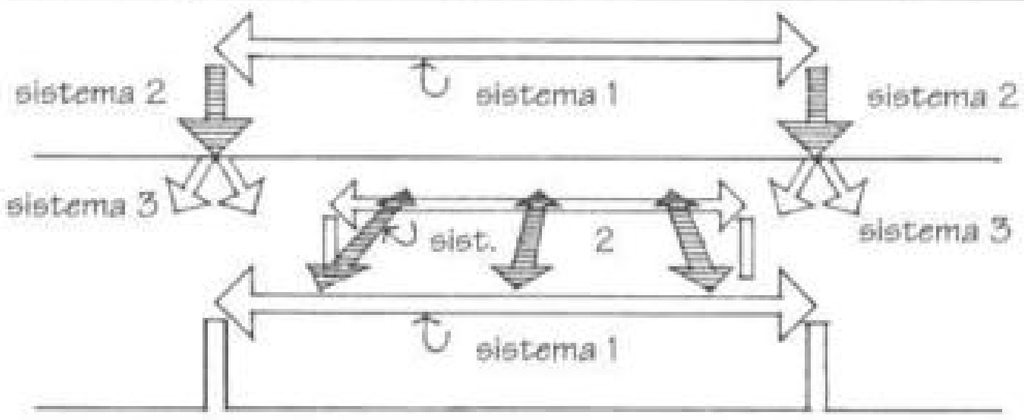
Las estructuras híbridas son sistemas en los que la desviación de las fuerzas se efectúa a través de la acción conjunta de dos o más sistemas diferentes –pero equiparables en cuanto a su función portante– de distintas "familias" estructurales

La acción conjunta se consigue mediante dos maneras posibles de unión de sistemas: SUPERPOSICIÓN o ACOPLAMIENTO




Estructuras mal denominadas "híbridas"

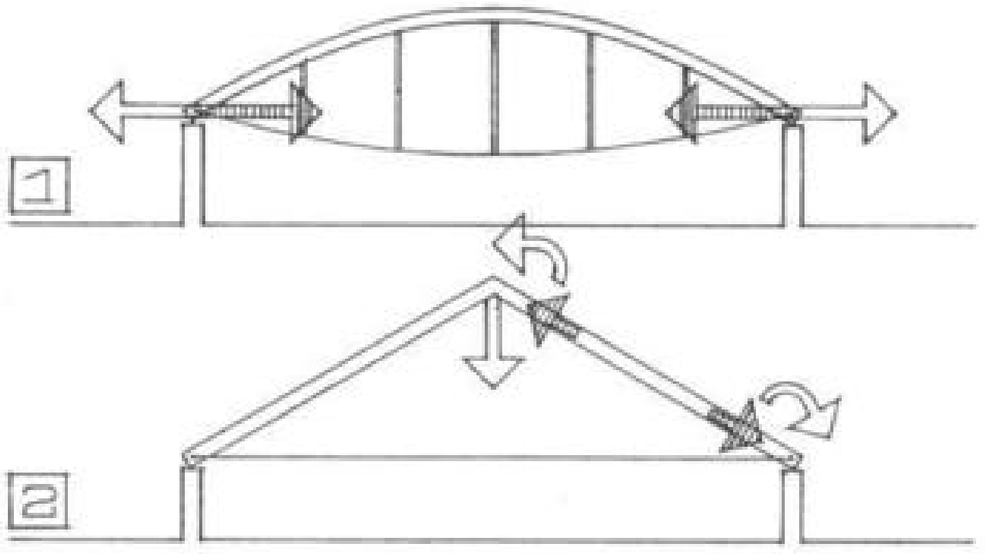
No se han de entender como estructuras híbridas aquellos sistemas en los que cada una de las funciones de la estructura –como, p. e., recepción de cargas, transmisión de cargas y entrega de cargas, rigidización frente al viento y otras rigidizaciones del edificio– las realizan diferentes "familias" de estructuras




Estructuras potencialmente híbridas

1 Compensación mútua o reducción de fuerzas críticas
Ejemplo: fuerzas horizontales opuestas de arcos funiculares o cables suspendidos en el apoyo

2 Función estática doble o múltiple de determinados elementos estructurales
Ejemplo: función del cordón superior o del cable como jácena portante y barra a compresión




## Sistemas de estrutura em co-ação: sistemas de estruturas híbridas

Definição

Os sistemas híbridos são sistemas nos quais a redistribuição de forças é efetuada através da co-ação de dois ou vários sistemas diferentes –mas com sua eficácia basicamente equipotente– de diferentes "famílias" de estruturas

A união, ou trabalho conjunto, é conseguida através de duas formas possíveis de união de sistemas:
SOBREPOSIÇÃO ou UNIÃO

Denominação 'híbrido' incorreta

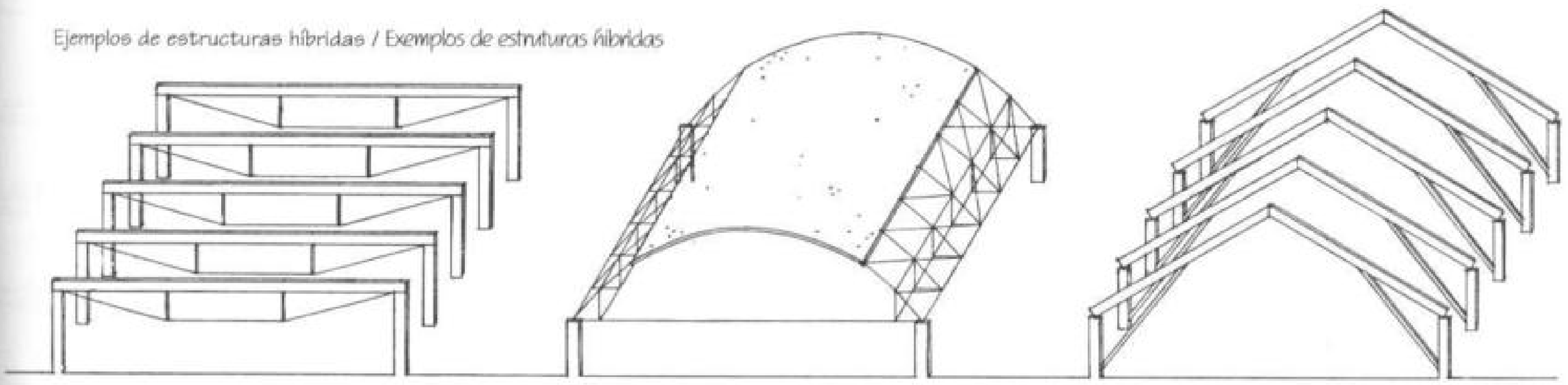
Os sistemas estruturais híbridos NÃO devem ser entendidos como sistemas nos quais as funções de componente de suporte, como recepção de carga, transmissão de carga, descarga de carga, suporte ao vento e outras estabilizações, são feitas através das edificações, cada um pertencendo a uma 'família' de estrutura diferente

Potencial das estruturas híbridas

1 Compensação mútua ou redução de forças críticas
Exemplo: Forças horizontais opostas na base do arco funicular e cabo de suspensão

2 Função estrutural de duas doblras ou várias doblras de componentes de estrutura individual
Exemplo – Função de corda de topo como viga e como barra de compressão

Ejemplos de estructuras híbridas / Exemplos de estruturas híbridas



Viga atirantada: Superposición
de sistemas de SECCIÓN activa y de FORMA activa

Membrana con celosía: Acoplamiento
de sistemas de SUPERFICIE activa y de VECTOR activo

Pórtico de cabios arriostrados: Superposición
de sistemas de SECCIÓN activa y de VECTOR activo

Viga de cabo sustentado: Sobreposição
de sistemas de SEÇÃO-ativa e de FORMA-ativa

Casca com segmento entrelaçado: União
de sistemas de SUPERFÍCIE-ativa e de VETOR-ativo

Pórticos de viga autoportante: Sobreposição
de sistemas de SEÇÃO-ativa e de VETOR-ativo

Interpretación errónea de sistemas de estructuras híbridas como TIPO autónomo de estructura

Los sistemas de estructuras híbridas NO pueden considerarse como una "FAMILIA" estructural independiente o como un "TIPO" estructural específico:
1. No poseen un mecanismo típico para desviar las cargas
2. No desarrollan un estado específico de fuerzas actuantes o tensiones
3. No presentan propiedades estructurales características

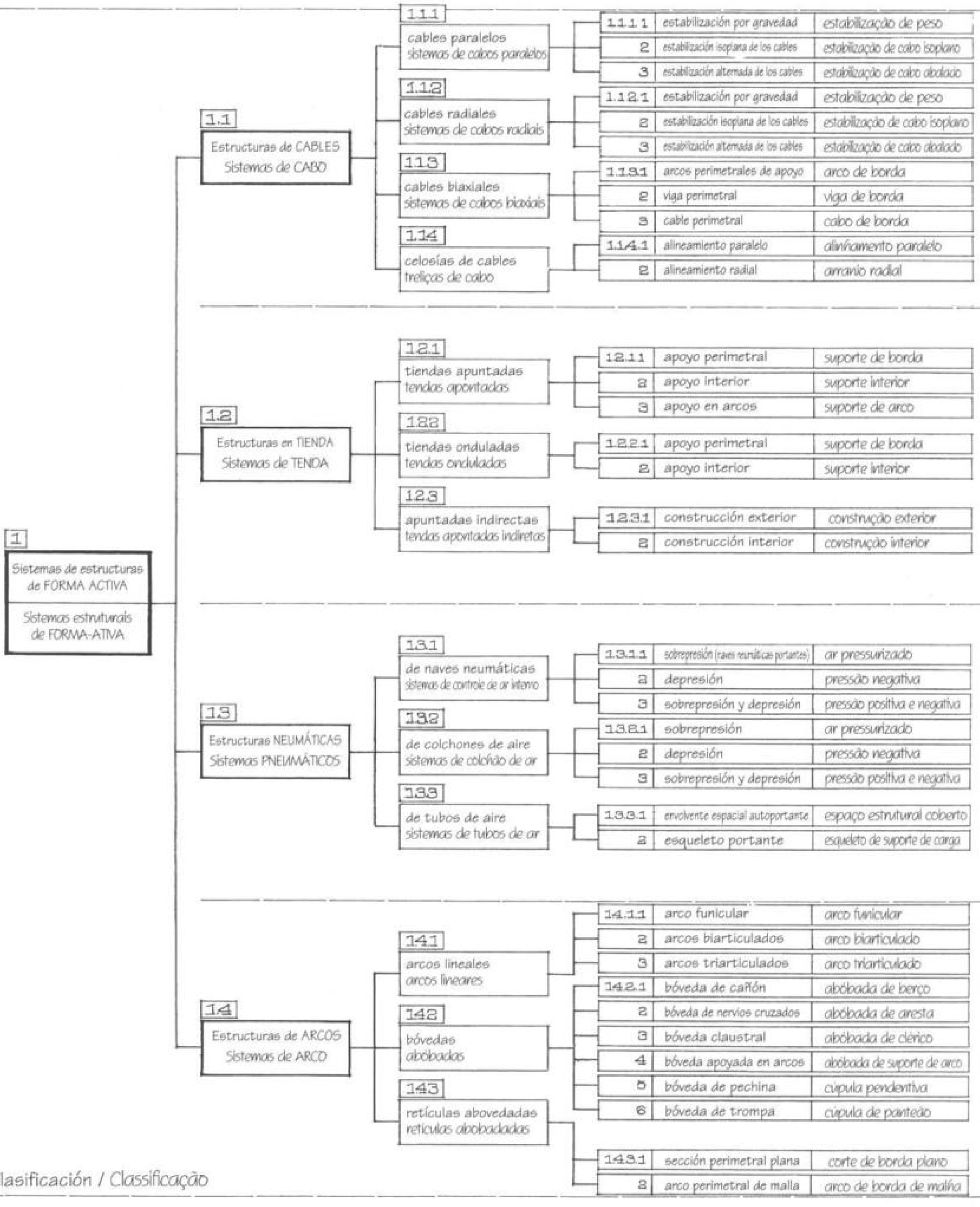
Interpretação equivocada de sistemas estruturais híbridos como pertencentes à CLASSE de estruturas autônomas

Sistemas estruturais híbridos NÃO se qualificam como uma "FAMÍLIA" de estruturas separada, ou como um TIPO de estrutura definido por características de estruturas específicas:
1. Eles não possuem um mecanismo inerente para a redistribuição de forças
2. Eles não desenvolvem uma condição específica de forças de ação ou tensões
3. Eles não comandam traços estruturais característicos próprios

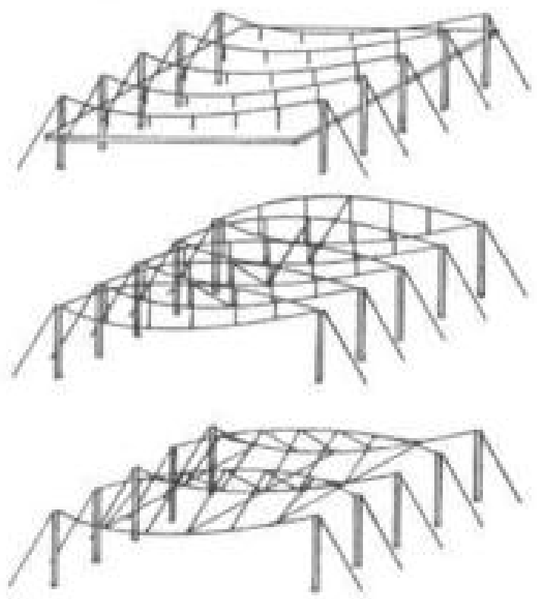
*Genealogía de las estructuras en la edificación*

*Genealogia das estruturas na construção*

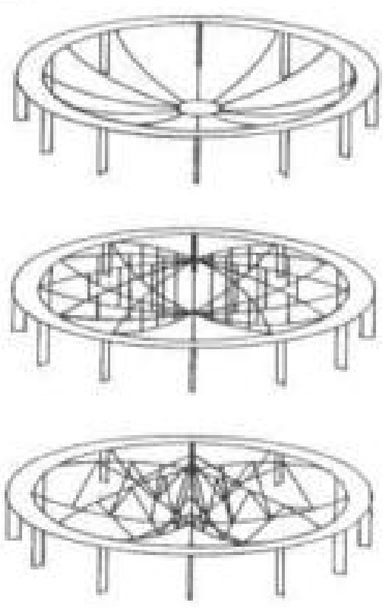
| | | |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 11 | | |
| 111 | cables paralelos | sistemas de cabo paralelo |
| 112 | cables radiales | sistemas de cabo radial |
| 113 | cables biaxiales | sistemas de cabo biaxial |
| 114 | celosías de cables | cabos entrelaçados |
| 12 | | |
| 121 | tiendas apuntadas | tendas apontadas |
| 122 | tiendas onduladas | tendas onduladas |
| 123 | tiendas apuntadas indirectas | tendas apontadas i |
| 13 | | |
| 131 | naves neumáticas | sistemas de controle de ar interno |
| 132 | colchones de aire | sistemas de colchão de ar |
| 133 | tubos de aire | sistemas de tubo de ar |
| 14 | | |
| 141 | arcos lineales | arcos lineares |
| 142 | bóvedas | abóbadas |
| 143 | retículas abovedadas | reticulos abobadad |
| 2 | | |
| 21 | | |
| 211 | de cordón superior | treliças de corda de topo |
| 212 | de cordón inferior | treliças de corda inferior |
| 213 | de dos cordones | treliças de corda dupla |
| 214 | sobreelevadas | treliças em contraflecha |
| 22 | | |
| 221 | cerchas lineales | treliças lineares |
| 222 | cerchas plegadas | treliças dobradas |
| 223 | cerchas cruzadas | treliças cruzadas |
| 23 | | |
| 231 | de curvatura simple | de curvas simples |
| 232 | en forma de silla de montar | treliças em forma de sela |
| 233 | en forma de cúpula | treliças em forma de cúpula |
| 234 | de forma esférica | treliças de forma esférica |
| 24 | | |
| 241 | mallas espaciales planas | treliças espaciais pl |
| 242 | mallas espaciales plegadas | treliças espaciais dob |
| 243 | mallas espaciales curvadas | treliças espaciais cu |
| 244 | mallas espaciales lineales | treliças espaciais lin |
| 3 | | |
| 31 | | |
| 311 | vigas de un vano | vigas de vão único |
| 312 | vigas continuas | vigas continua |
| 313 | vigas articuladas | vigas articuladas |
| 314 | vigas en voladizo | vigas em balanço |
| 32 | | |
| 321 | pórticos de un vano | pórticos de vão únic |
| 322 | pórticos de varios vanos | pórticos de vários v |
| 323 | pórticos de una planta | pórticos de pavimen |
| 33 | | |
| 331 | retículas homogéneas | malhas homogêneas |
| 332 | retículas escalonadas | malhas graduadas |
| 333 | retículas concéntricas | malhas concêntricas |
| 34 | | |
| 341 | losas uniformes | lajes uniformes |
| 342 | losas nervadas | lajes com nervuras |
| 343 | pórticos de losas | pórticos em caixa |
| 344 | losas en voladizo | lajes em balanço |
| 4 | | |
| 41 | | |
| 411 | láminas de un vano | placas de vão único |
| 412 | láminas continuas | placas continuas |
| 413 | láminas en voladizo | placas em balanço |
| 414 | laminas cruzadas | placas cruzadas |
| 42 | | |
| 421 | láminas plegadas prismáticas | placas dobradas pri |
| 422 | láminas plegadas poliédricas | placas dobradas po |
| 423 | láminas plegadas interseccionadas | placas dobradas em l |
| 424 | láminas plegadas lineales | placas dobradas lin |
| 43 | | |
| 431 | de curvatura simple | cascas de curvas simples |
| 432 | en forma de cúpula | cascas em cúpula |
| 433 | en forma de silla de montar | cascas em sela |
| 434 | lineales | cascas lineares |
| 5 | | |
| 51 | | |
| 511 | retículas porticadas | de pórticos |
| 512 | retículas en celosía | entrelaçados |
| 513 | retíc. de pilares rigidizados | com pilares estabiliz |
| 514 | retículas laminares | de paredes cisalhad |
| 52 | | |
| 521 | de pórticos | de pórticos |
| 522 | de celosías | entrelaçado |
| 523 | de pilares rigidizados | com pilares estabilizados |
| 524 | de láminas | de paredes cisalhadas |
| 53 | | |
| 531 | núcleos en voladizo | balanço suportado por |
| 532 | núcleo portante indirecto | núcleo portante indir |
| 533 | combinaciones de núcleos | combinações de nú |
| 54 | | |
| 541 | puentes de jácenas | pontes de vigas |
| 542 | puentes de planta | pontes de pavimento |
| 543 | puentes de varias plantas | pontes de vários pavimentos |


1 Sistemas de estructuras de FORMA ACTIVA / Sistemas estruturais de FORMA-ATIVA
1.1 Estructuras de CABLES / Sistemas de CABO
111 cables paralelos / sistemas de cabos paralelos
1.1.1.1 estabilización por gravedad | estabilização de peso
2 estabilización isoplana de los cables | estabilização de cabo isoplano
3 estabilización alternada de los cables | estabilização de cabo alcolado
1.12 cables radiales / sistemas de cabos radiais
1.12.1 estabilización por gravedad | estabilização de peso
2 estabilización isoplana de los cables | estabilização de cabo isoplano
3 estabilización alternada de los cables | estabilização de cabo alcolado
113 cables biaxiales / sistemas de cabos biaxiais
1.13.1 arcos perimetrales de apoyo | arco de borda
2 viga perimetral | viga de borda
3 cable perimetral | cabo de borda
114 celosías de cables / treliças de cabo
1.14.1 alineamiento paralelo | alinhamento paralelo
2 alineamiento radial | arranjo radial
1.2 Estructuras en TIENDA / Sistemas de TENDA
12.1 tiendas apuntadas / tendas apontadas
12.11 apoyo perimetral | suporte de borda
2 apoyo interior | suporte interior
3 apoyo en arcos | suporte de arco
122 tiendas onduladas / tendas onduladas
12.2.1 apoyo perimetral | suporte de borda
2 apoyo interior | suporte interior
123 apuntadas indirectas / tendas apontadas indiretas
12.3.1 construcción exterior | construção exterior
2 construcción interior | construção interior
1.3 Estructuras NEUMÁTICAS / Sistemas PNEUMÁTICOS
131 de naves neumáticas / sistemas de controle de ar interno
1.3.1.1 sobrepresión (naves neumáticas portantes) | ar pressurizado
2 depresión | pressão negativa
3 sobrepresión y depresión | pressão positiva e negativa
132 de colchones de aire / sistemas de colchão de ar
13.2.1 sobrepresión | ar pressurizado
2 depresión | pressão negativa
3 sobrepresión y depresión | pressão positiva e negativa
133 de tubos de aire / sistemas de tubos de ar
13.3.1 envolvente espacial autoportante | espaço estrutural coberto
2 esqueleto portante | esqueleto de suporte de carga
1.4 Estructuras de ARCOS / Sistemas de ARCO
141 arcos lineales / arcos lineares
14.1.1 arco funicular | arco funicular
2 arcos biarticulados | arco biarticulado
3 arcos triarticulados | arco triarticulado
142 bóvedas / abóbadas
14.2.1 bóveda de cañón | abóbada de berço
2 bóveda de nervios cruzados | abóbada de aresta
3 bóveda claustral | abóbada de clérico
4 bóveda apoyada en arcos | abóbada de suporte de arco
5 bóveda de pechina | cúpula pendentiva
6 bóveda de trompa | cúpula de pantelo
143 retículas abovedadas / reticulos abobadados
14.3.1 sección perimetral plana | corte de borda plano
2 arco perimetral de malla | arco de borda de malha

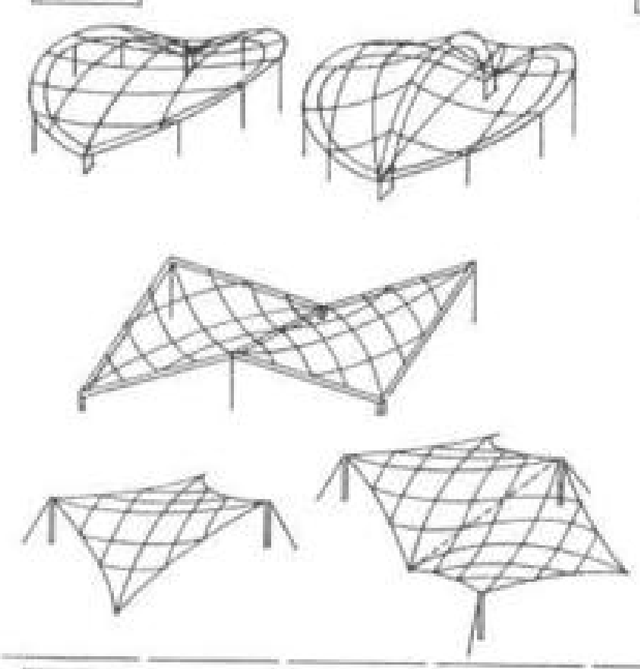
111



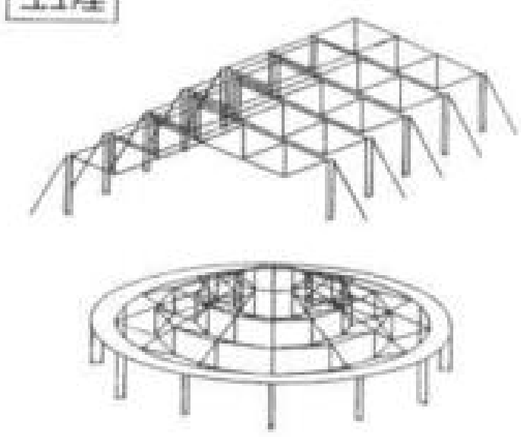
112



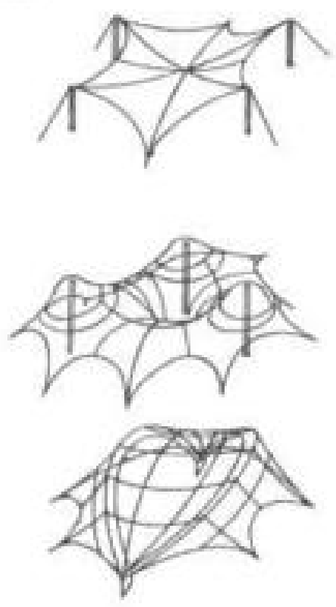
113



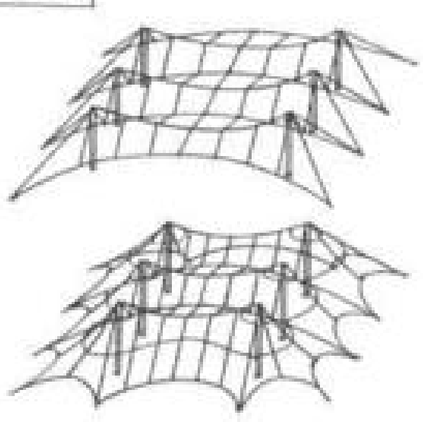
114



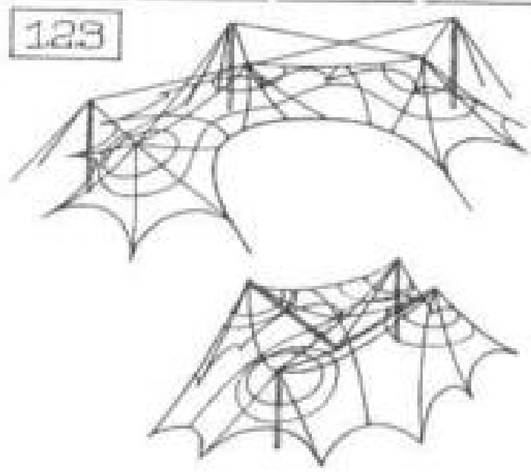
121



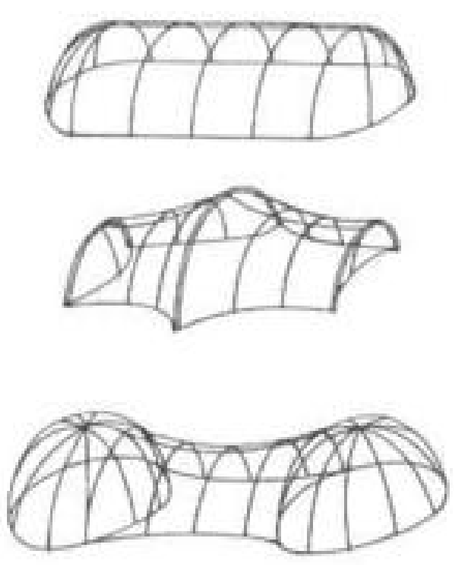
122



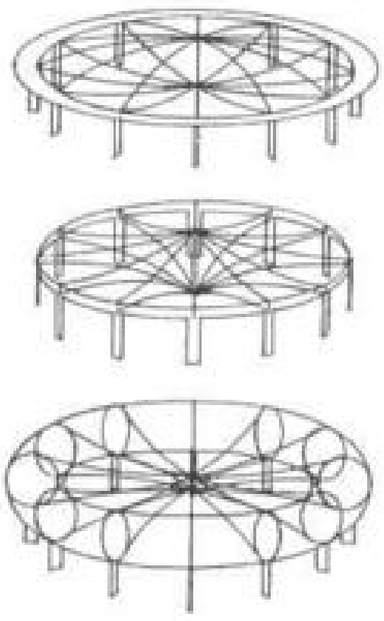
123



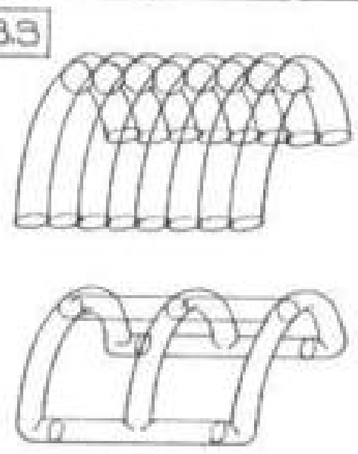
131



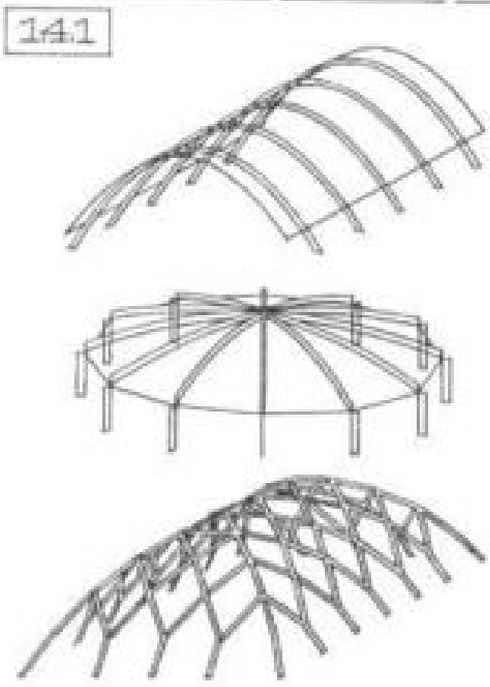
132



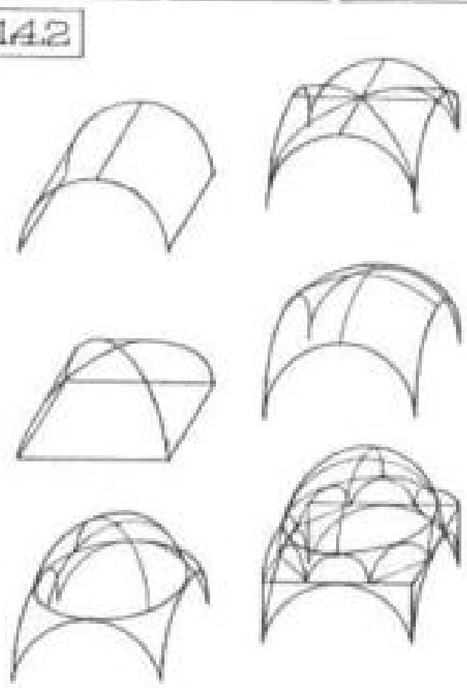
133



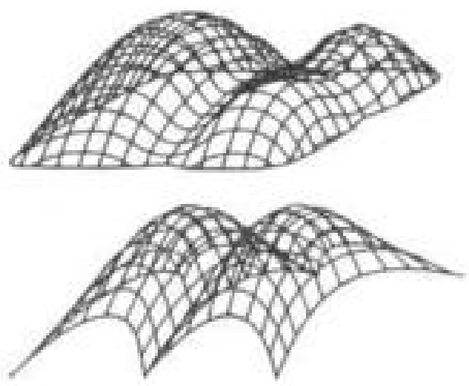
141

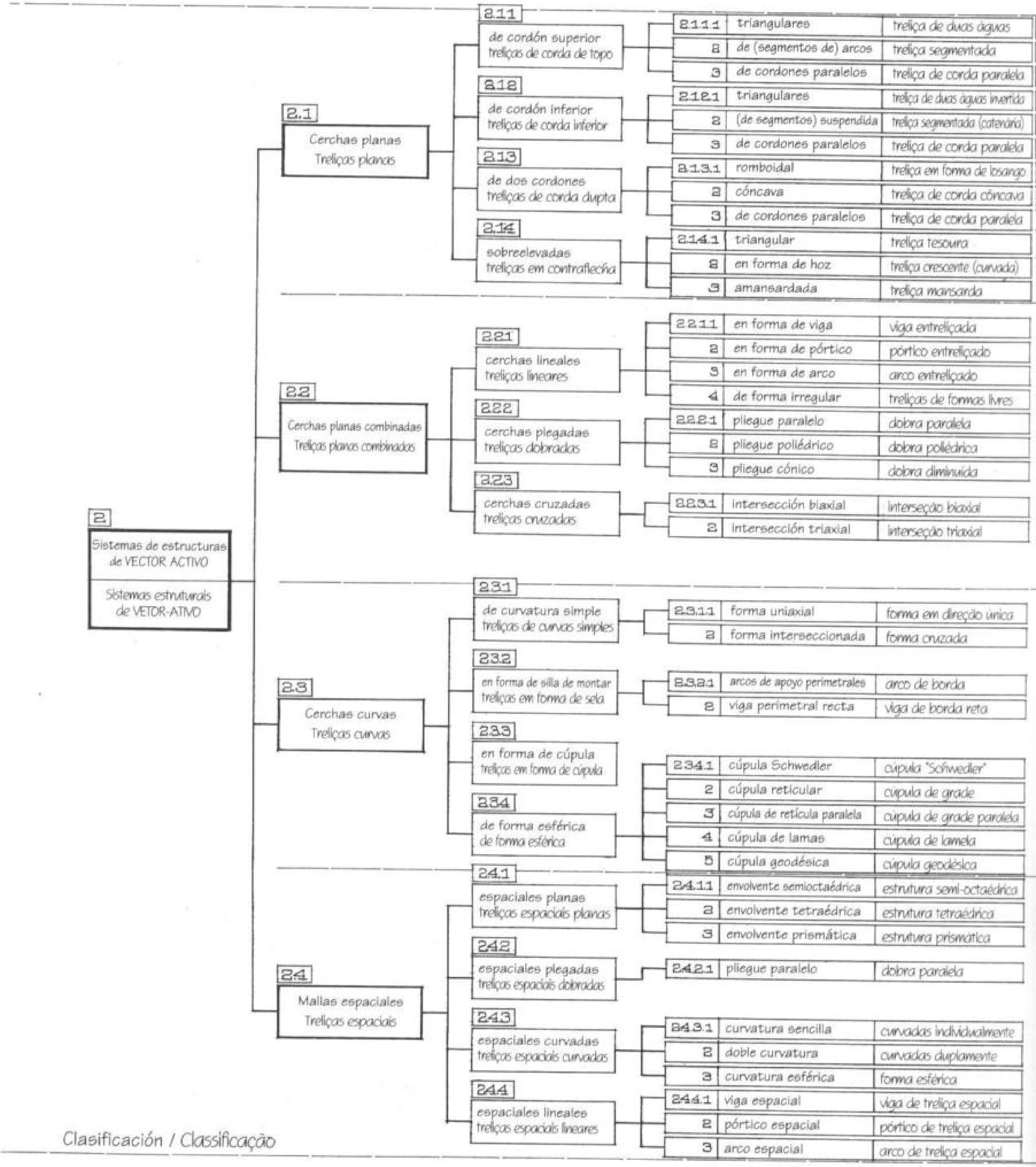


142



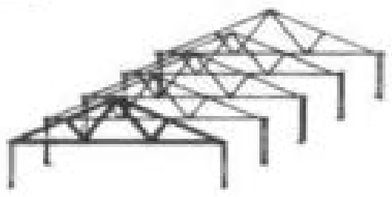
143

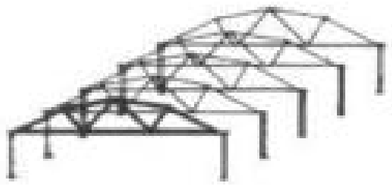


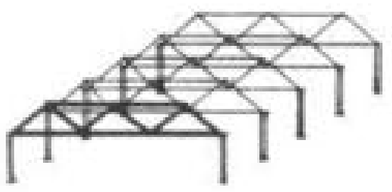



Clasificación / Classificação

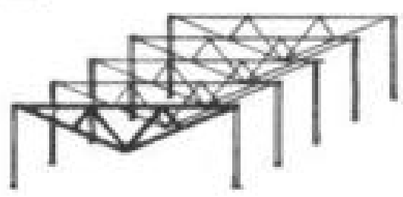
211

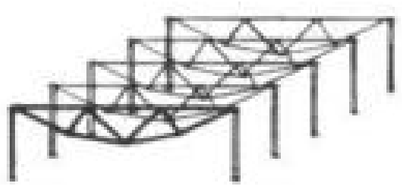
1 

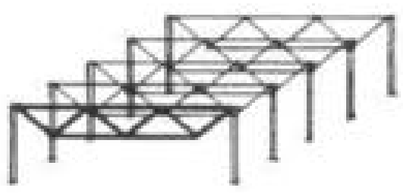
2 

3 

212

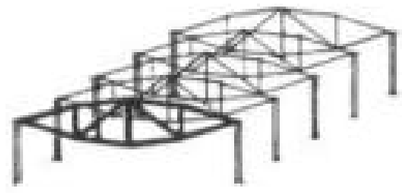
1 

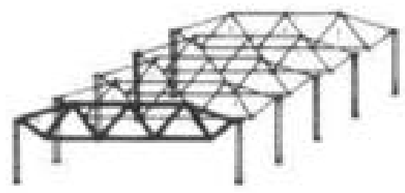
2 

3 

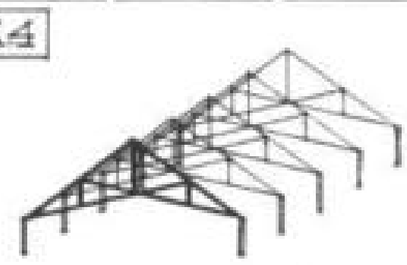
213

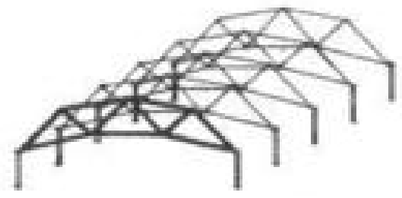
1

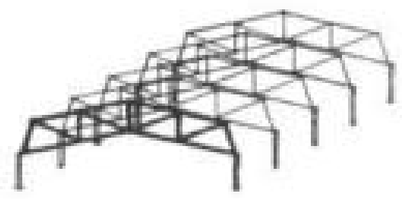
2 

3 

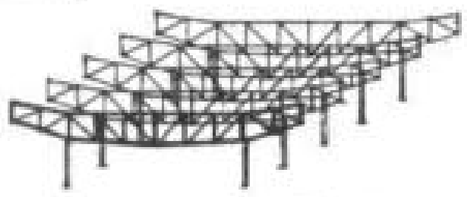
214

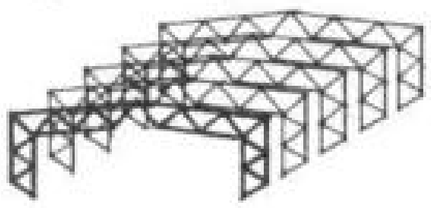
1 

2 

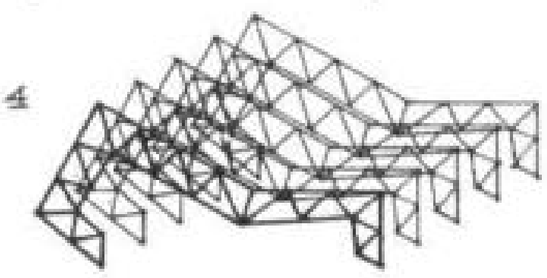
3 

221

1 

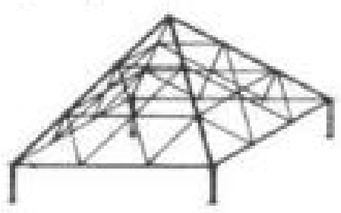
2 

3

4 

222

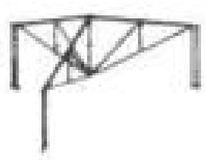
1

2 

3

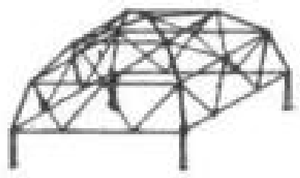
223

1

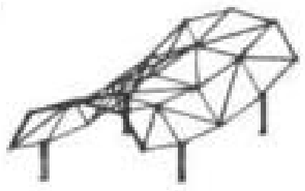
2 

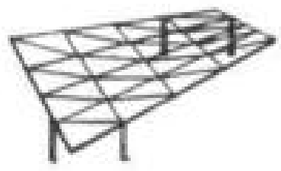
231

1

2 

232

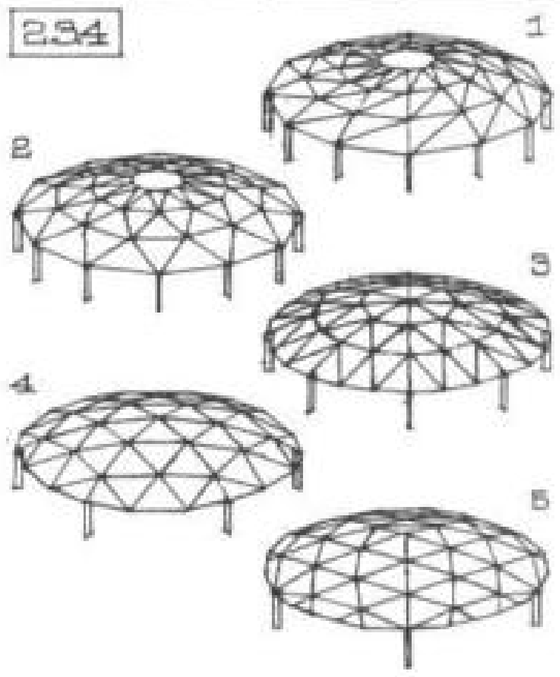
1 

2 

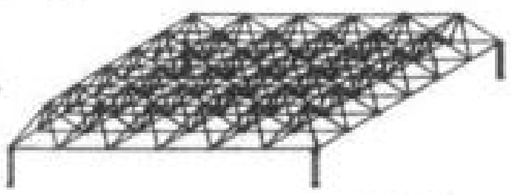
233

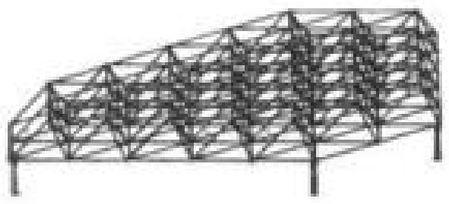
1

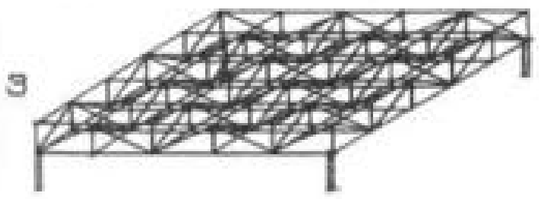
234



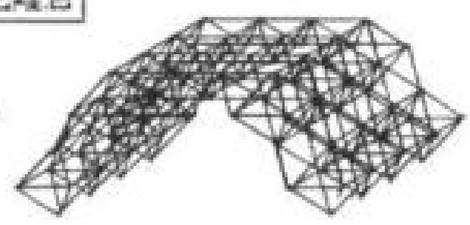

241

1 

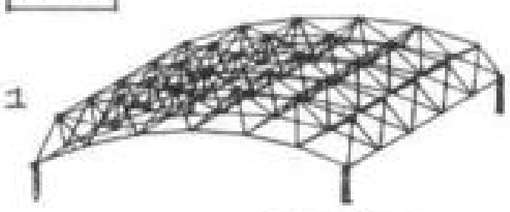
2 

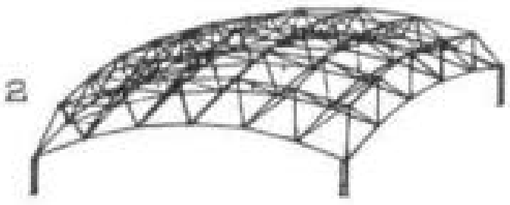
3 

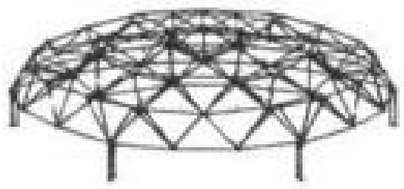
242

1 

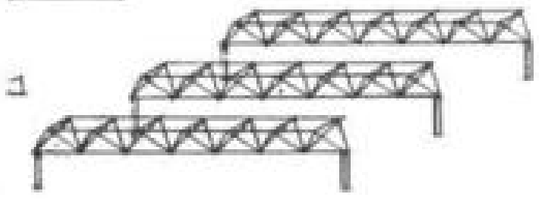
243

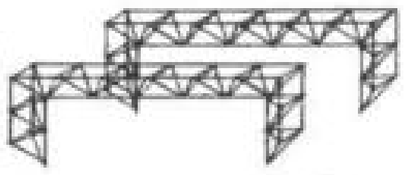
1 

2 

3 

244

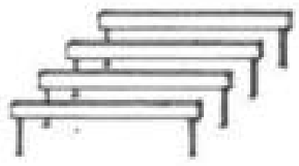
1 

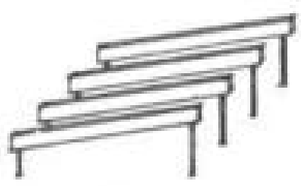
2 

3

- 3 — Sistemas de estructuras de SECCIÓN ACTIVA / Sistemas estruturais de SEÇÃO-ATIVA
  - 31 — VIGAS de VIGAS
    - 311 — vigas de un vano / vigas de vão único
      - 3111 — vigas horizontales — viga horizontal
      - 2 — vigas oblicuas — viga obliqua
      - 3 — vigas inclinadas — viga em ângulo
      - 4 — vigas curvas — viga curvada
    - 312 — vigas continuas / vigas contínuas
    - 313 — vigas articuladas / vigas articuladas
    - 314 — vigas en voladizo / vigas em balanço
      - 3141 — con voladizo en un extremo — viga em balanço unilateral
      - 2 — con voladizo en ambos extremos — viga em balanço bilateral
  - 32 — PÓRTICOS de PÓRTICOS
    - 321 — pórticos de un vano / pórticos de vão único
      - 3211 — pórtico biarticulado — pórtico biarticulado
      - 2 — pórtico triarticulado — pórtico triarticulado
      - 3 — pórtico empotrado — pórtico com finais fixos
    - 322 — pórticos de varios vanos / pórticos de vários vãos
      - 3221 — pórtico continuo — Pórtico continuo
      - 2 — articulado de varios vanos — Pórtico unido
      - 3 — pórtico empotrado — Pórtico com extremos fixos
    - 323 — pórticos de una planta / pórticos de pavimento
      - 3231 — cerrado de un vano — pórtico fechado de vão único
      - 2 — cerrado de varios vanos — pórtico fechado de vários vãos
      - 3 — cerrado de varias plantas — pórtico fechado de vários pavimentos
  - 33 — RETÍCULA DE VIGAS de MALHA DE VIGAS
    - 331 — retículas homogéneas / malhas homogêneas
      - 3311 — retículas ortogonales — malhas ortogonais
      - 2 — retículas en diagonal — malhas diagonais
      - 3 — retículas triangulares — malhas triangulares
    - 332 — retículas escalonadas / malhas graduadas
      - 3321 — retículas ortogonales — malhas ortogonais
      - 2 — retículas oblicuas — malhas obliquas
      - 3 — retículas triangulares — malhas triangulares
    - 333 — retículas concéntricas / malhas concêntricas
  - 34 — LOSAS de LAJES
    - 341 — losas uniformes / lajes uniformes
      - 3411 — apoyadas en el perímetro — lajes apoiadas nas arestas
      - 2 — losas continuas — lajes continuas
      - 3 — losas fungiformes — lajes cogumelo
    - 342 — losas nervadas / lajes com nervuras
      - 3421 — losas nervadas — lajes com nervuras
      - 2 — losas con casetones — lajes waffle (encofradas)
      - 3 — forjados con vigas en forma de T — pisos com vigas em T
    - 343 — pórticos de losas / pórticos em caixa
      - 3431 — abiertos — pórticos de caixa aberta
      - 2 — de una planta — pórticos de caixa fechada
      - 3 — de varias plantas — pórtico de caixa de vários pavimentos
    - 344 — losas en voladizo / lajes em balanço
      - 3441 — en un extremo — lajes em balanço unilateral
      - 2 — en dos extremos — lajes em balanço bilateral

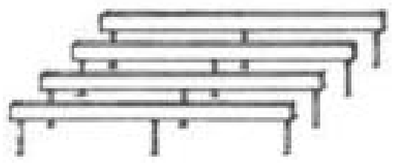
3.1.1

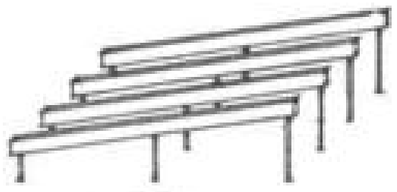
1 

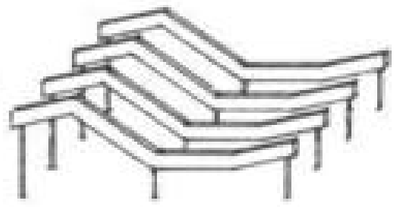
2 

3

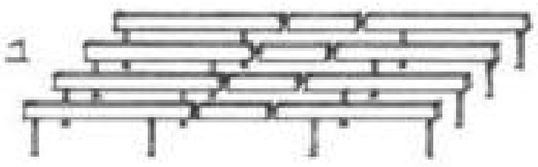
3.1.2

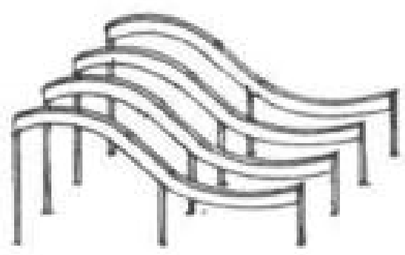
1 

2 

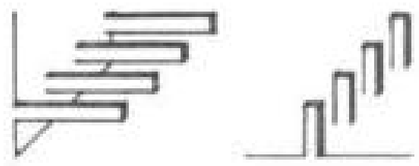
3 

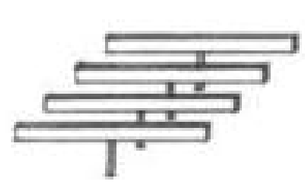
3.1.3

1 

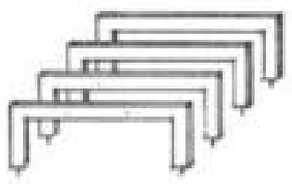
4 

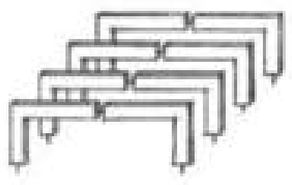
3.1.4

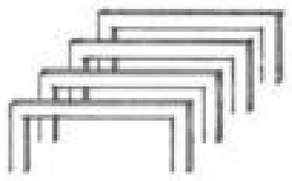
1 

2 

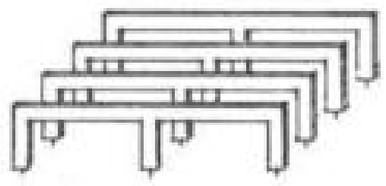
3.2.1

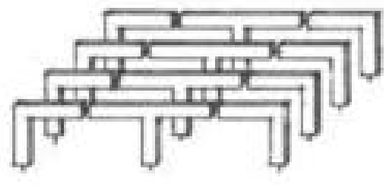
1 

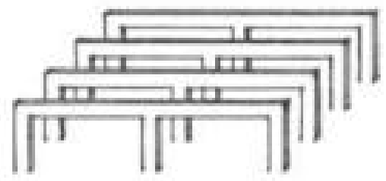
2 

3 

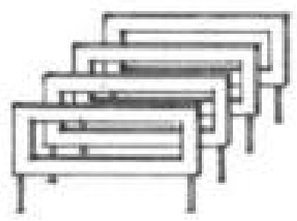
3.2.2

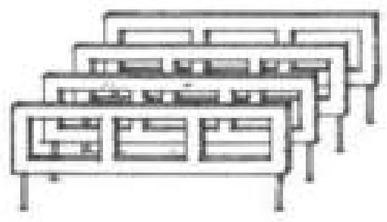
1 

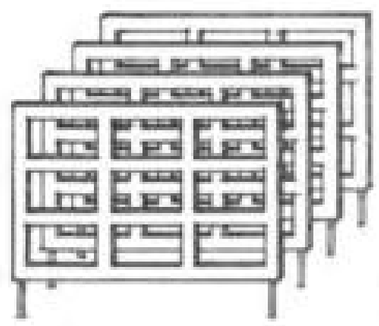
2 

3 

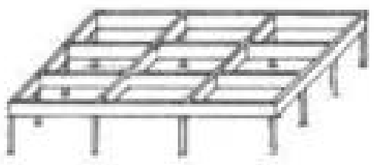
3.2.3

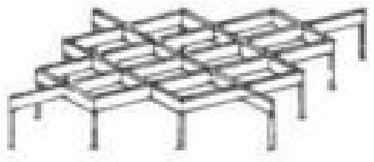
1 

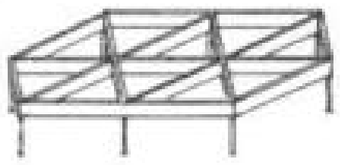
2 

3 

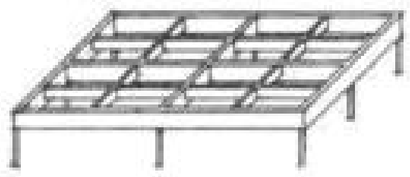
3.3.1

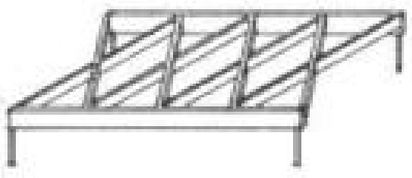
1 

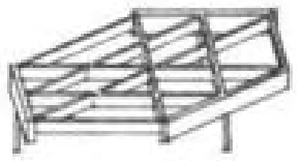
2 

3 

3.3.2

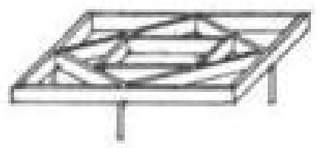
1 

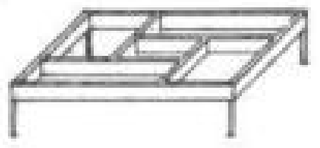
2 

3 

→

3.3.3

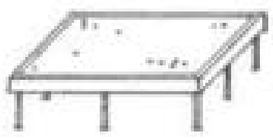
1 

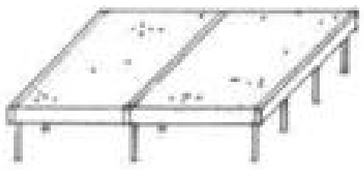
2 

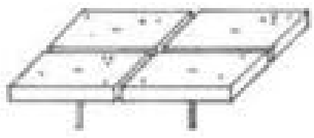
→

3.3.4

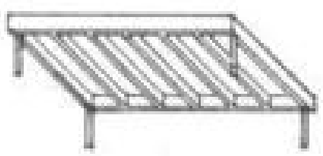
3.4.1

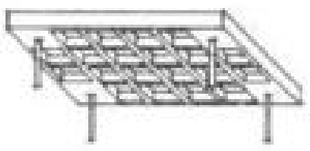
1 

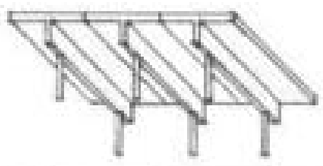
2 

3 

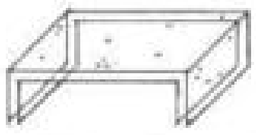
3.4.2

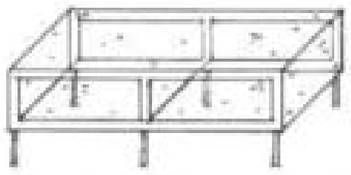
1 

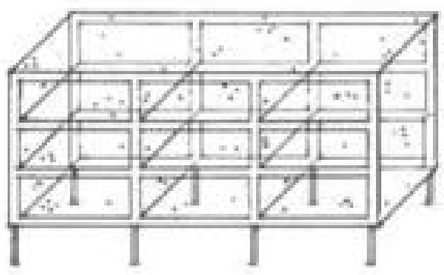
2 

3 

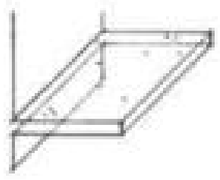
3.4.3

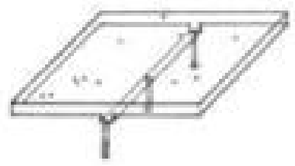
1 

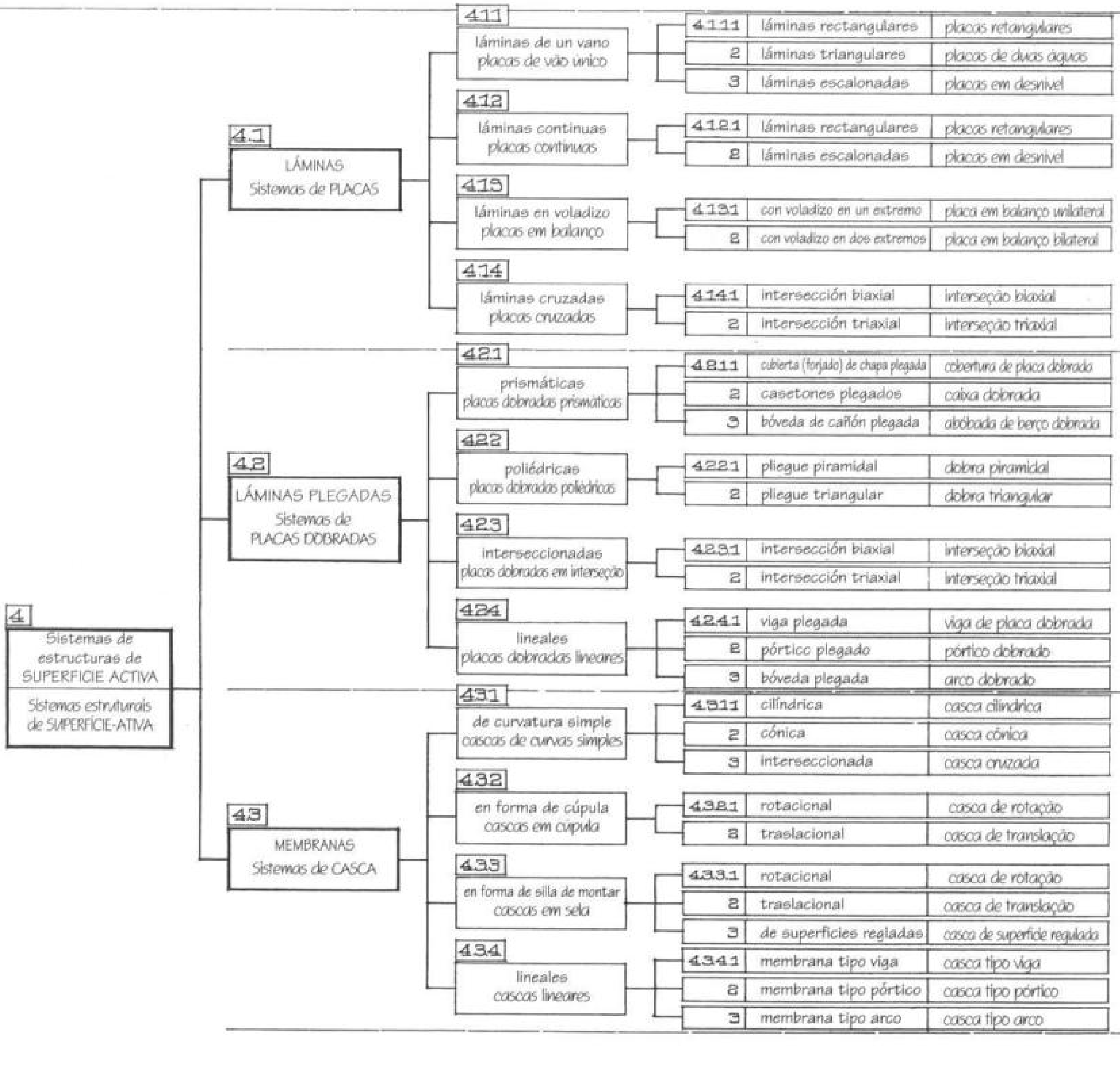
2 

3 

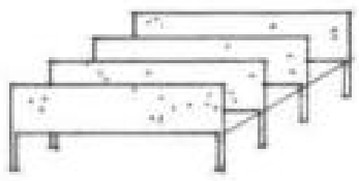
3.4.4

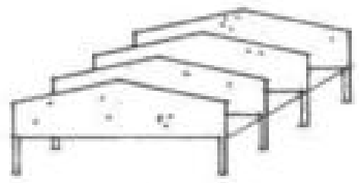
1 

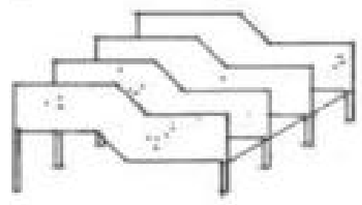
2 


4 Sistemas de estructuras de SUPERFICIE ACTIVA / Sistemas estruturais de SUPERFÍCIE-ATIVA
41 LÁMINAS Sistemas de PLACAS
411 láminas de un vano placas de vão único
4111 láminas rectangulares placas retangulares
2 láminas triangulares placas de duas águas
3 láminas escalonadas placas em desnível
412 láminas continuas placas continuas
4121 láminas rectangulares placas retangulares
2 láminas escalonadas placas em desnível
413 láminas en voladizo placas em balanço
4131 con voladizo en un extremo placa em balanço unilateral
2 con voladizo en dos extremos placa em balanço bilateral
414 láminas cruzadas placas cruzadas
4141 intersección biaxial interseção biaxial
2 intersección triaxial interseção triaxial
42 LÁMINAS PLEGADAS Sistemas de PLACAS DOBRADAS
421 prismáticas placas dobradas prismáticas
4211 cubierta (forjado) de chapa plegada cobertura de placa dobrada
2 casetones plegados caixa dobrada
3 bóveda de cañón plegada abóbada de berço dobrada
422 poliédricas placas dobradas poliédricas
4221 pliegue piramidal dobra piramidal
2 pliegue triangular dobra triangular
423 interseccionadas placas dobradas em interseção
4231 intersección biaxial interseção biaxial
2 intersección triaxial interseção triaxial
424 lineales placas dobradas lineares
4241 viga plegada viga de placa dobrada
2 pórtico plegado pórtico dobrado
3 bóveda plegada arco dobrado
43 MEMBRANAS Sistemas de CASCA
431 de curvatura simple cascas de curvas simples
4311 cilíndrica casca cilíndrica
2 cónica casca cônica
3 interseccionada casca cruzada
432 en forma de cúpula cascas em cúpula
4321 rotacional casca de rotação
2 traslacional casca de translação
433 en forma de silla de montar cascas em sela
4331 rotacional casca de rotação
2 traslacional casca de translação
3 de superficies regladas casca de superfície regulada
434 lineales cascas lineares
4341 membrana tipo viga casca tipo viga
2 membrana tipo pórtico casca tipo pórtico
3 membrana tipo arco casca tipo arco

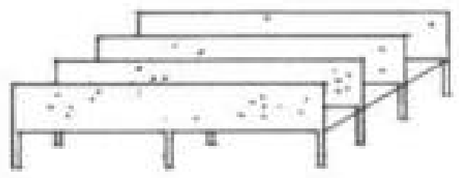
411

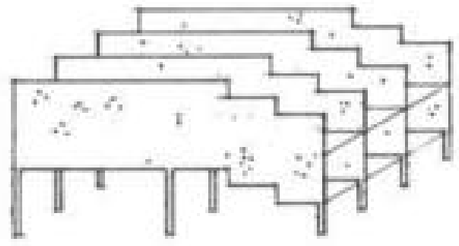
1 

2 

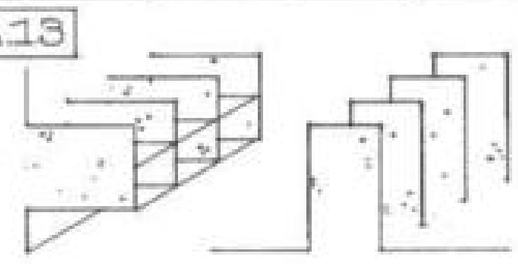
3 

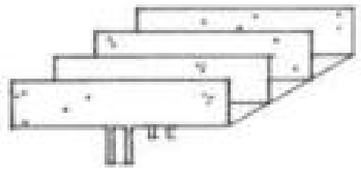
412

1 

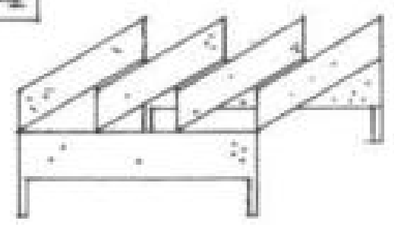
2 

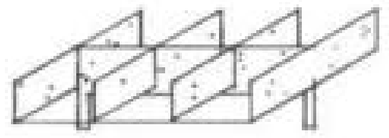
413

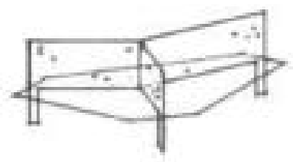
1 

2 

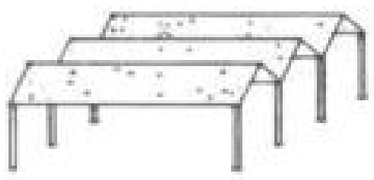
414

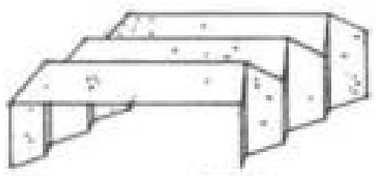
1 

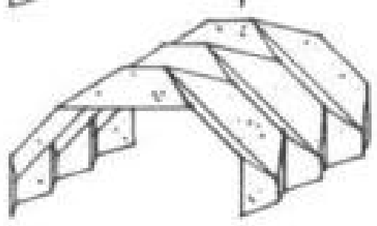
2 

3 

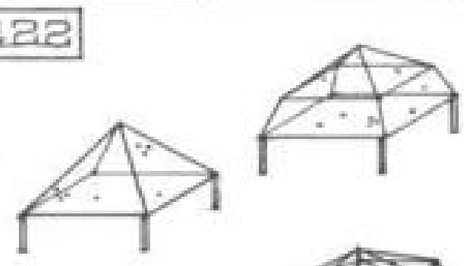
421

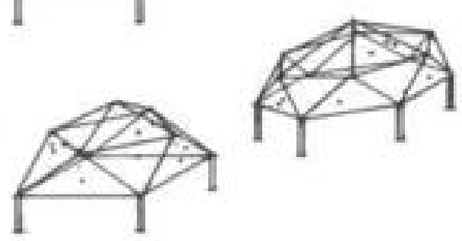
1 

2 

3 

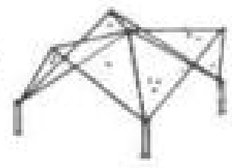
422

1 

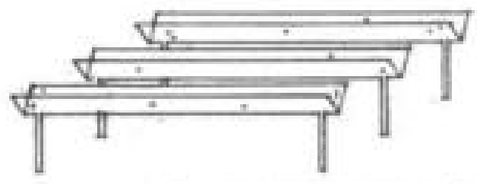
2 

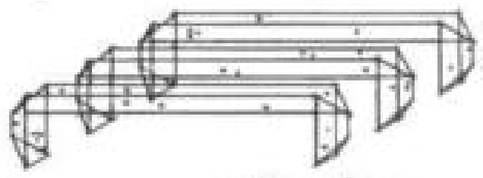
423

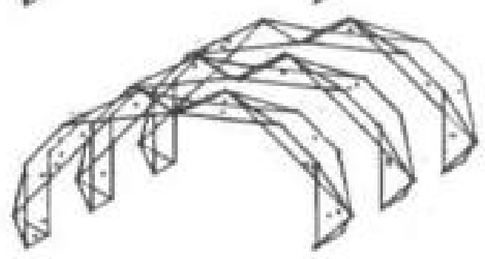
1

2 

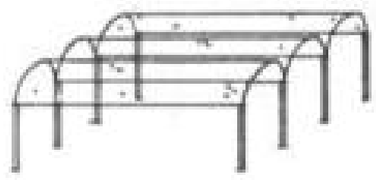
424

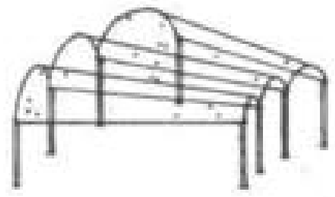
1 

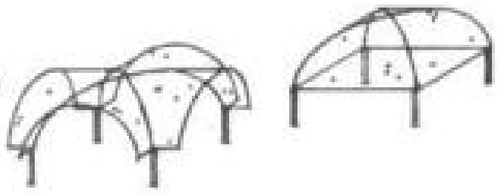
2 

3 

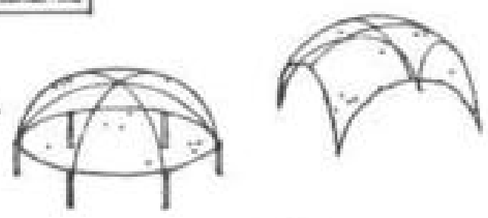
431

1 

2 

3 

432

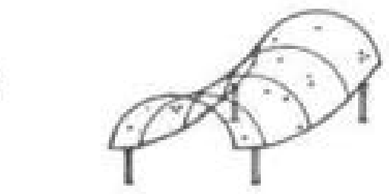
1 

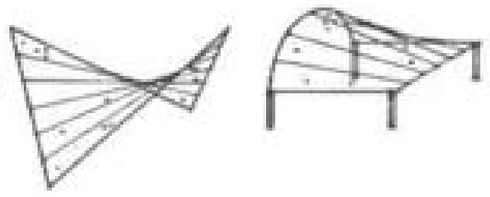
2

3

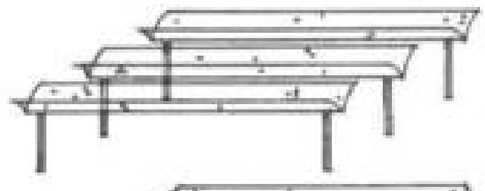
433

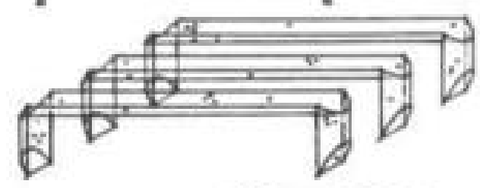
1

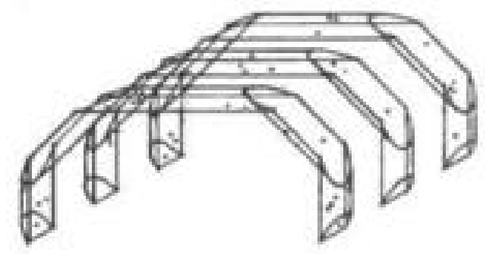
2 

3 

434

1 

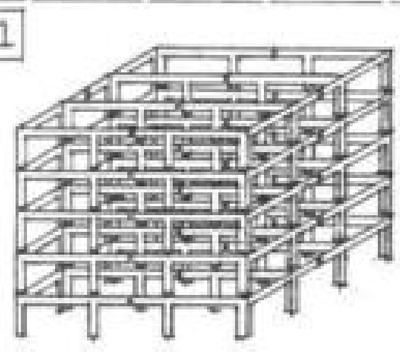
2 

3 

- 5 Sistemas de estructuras de ALTURA ACTIVA / Sistemas estruturais de ALTURA-ATIVA
  - 5.1 Rascacielos RETICULARES / Arranha-céus TIPO MODULAR
    - 511 retículas porticadas de pórticos
      - 5111 pórticos articulados superpuestos — pórticos sobrepostos unidos
      - 2 pórticos continuos en altura — pórticos em altura continuos
    - 512 retículas en celosía entreliçados
    - 513 retícula de pilares rigidizados compilares estabilizados
      - 5131 arriostram. de pórticos individuales — vão único reforçado
      - 2 rigidización del núcleo — estabilização de núcleo
      - 3 rigidiz. mediante láminas contra el viento — estabilização de parede cisalhada
    - 514 retículas laminares de paredes cisalhadas
      - 5141 sistemas de muros longitudinales — sistemas de parede longitudinal
      - 2 sistemas de muros transversales — sistemas de parede em interseção
      - 3 sist. de muros en dos direcciones — sistemas de parede em duas direções
  - 5.2 Rascacielos PERIMETRALES / Arranha-céus de VÃO LIVRE
    - 521 de pórticos de pórticos
      - 5211 pórticos articulados superpuestos — pórticos sobrepostos unidos
      - 5212 pórticos continuos en altura — pórticos continuos em altura
    - 522 de celosías entreliçados
    - 523 de pilares rigidizados com pilares estabilizados
      - 5231 arriostram. de pórticos individuales — vão único reforçado
      - 2 rigidización del núcleo — estabilização de núcleo
      - 3 rigidiz. mediante láminas contra el viento — estabilização de parede cisalhada
    - 524 de láminas de paredes cisalhadas
  - 5.3 Rascacielos CON NÚCLEO / Arranha-céus EM BALANÇO
    - 531 núcleos en voladizo balanço suportado por um nucleo
      - 5311 forjados en voladizo — laje em balanço
      - 5312 plantas en voladizo — pavimento em balanço
      - 5213 varias plantas en voladizo — vários pavimentos em balanço
    - 532 núcleo portante indirecto núcleo portante indireto
      - 5321 apoyo en el perímetro — suporte de borda
      - 5322 suspensión en el perímetro — suspensão de borda
      - 5323 siet. combinado de apoyo y suspensión — suspensão + suporte
    - 533 combinaciones de núcleos combinações de núcleos
      - 5331 sistemas de núcleo/carcasa — núcleo / sistemas de vão livre
      - 5332 sistemas de núcleo/retícula — núcleo / sistemas modulares
  - 5.4 Rascacielos PUENTE / Arranha-céus TIPO PONTE
    - 541 puentes de jácenas pontes de vigas
      - 54. 1 apoyo de todas las plantas — pavimentos apoiados
      - 54. 2 suspensión de todas las plantas — pavimentos suspensos
      - 54. 3 apoyo por grupos — grupos apoiados
      - 54. 4 suspensión por grupos — grupos suspensos
      - 54. 5 combinación apoyo/suspensión — combinações
    - 542 puentes de planta pontes de pavimento
    - 543 puentes de varias plantas pontes de vários pavimentos

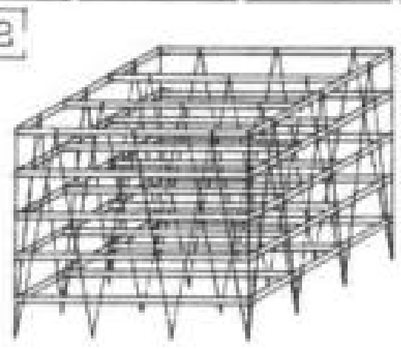
511

1



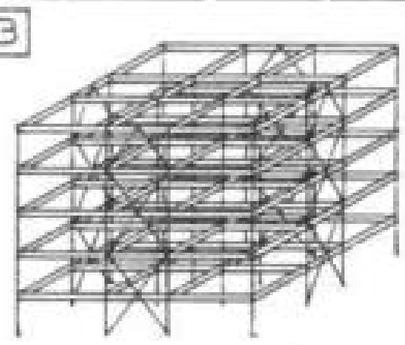
512

1



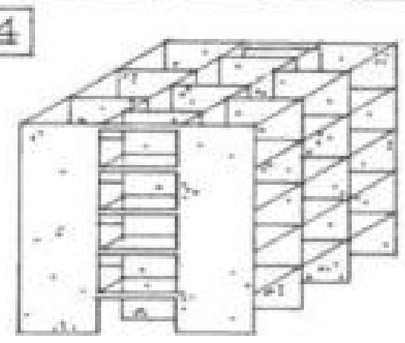
513

1

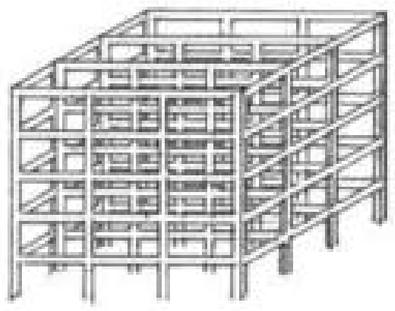


514

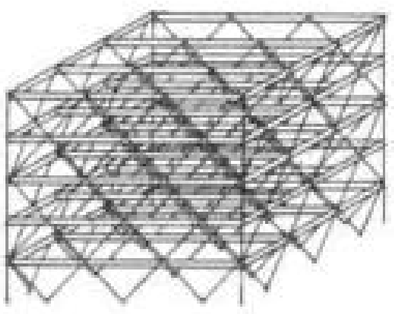
1



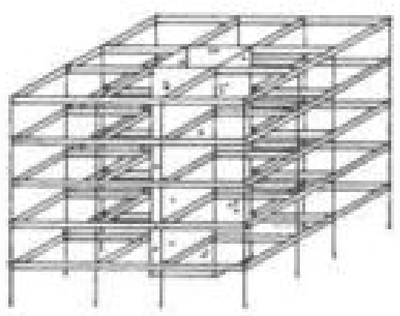
2



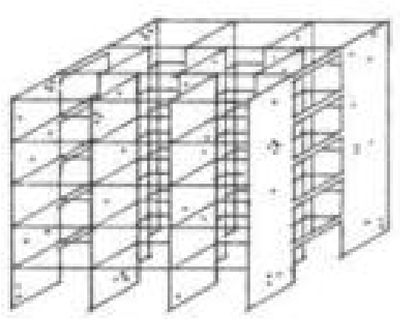
2



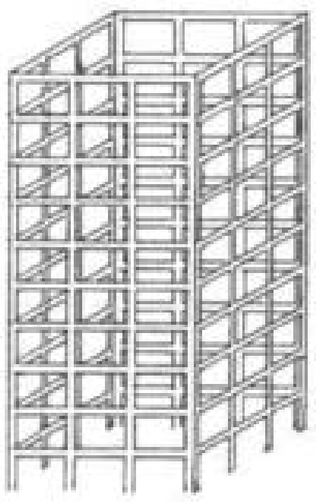
2



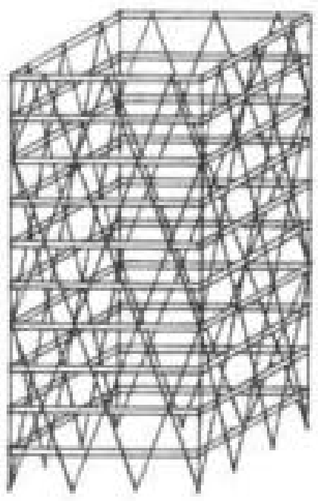
2



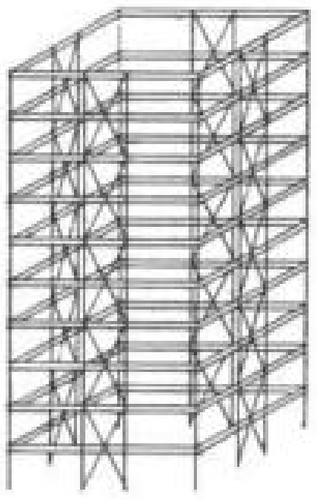
521



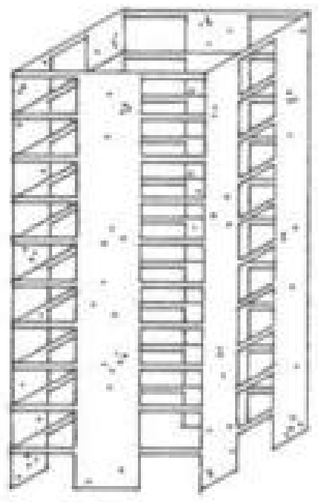
522



523

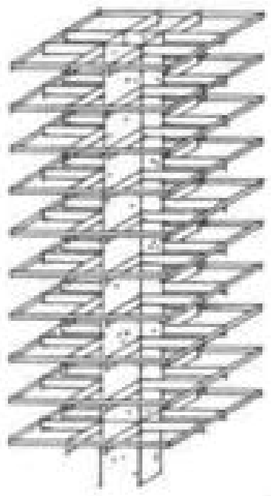


524

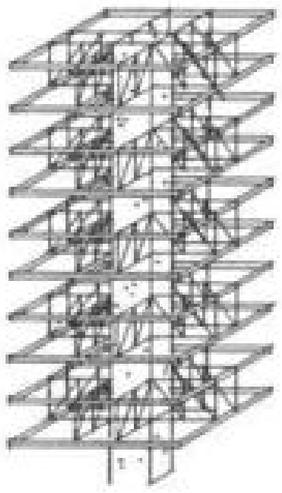


531

1

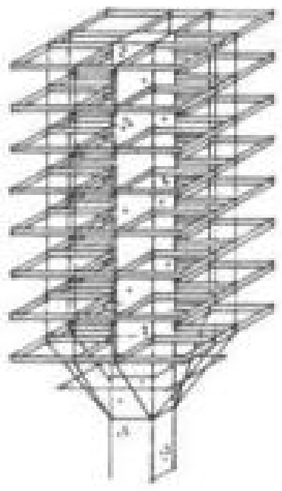


2

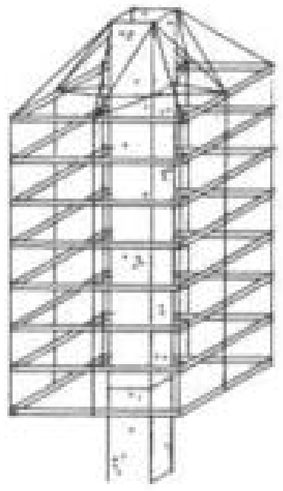


532

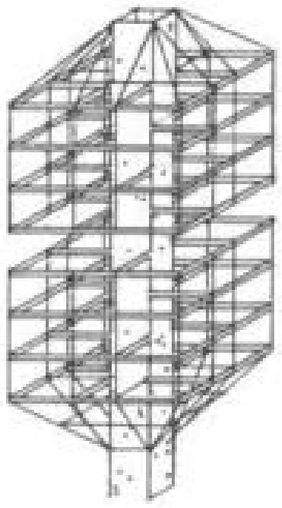
1



2

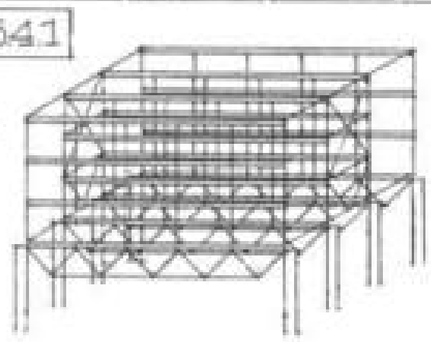


3

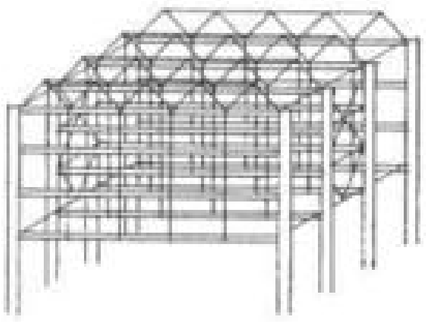


541

1

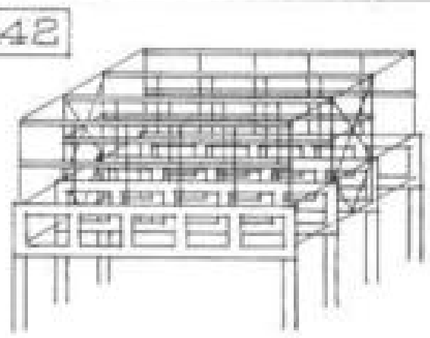


2

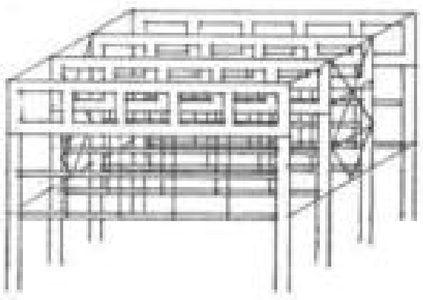


542

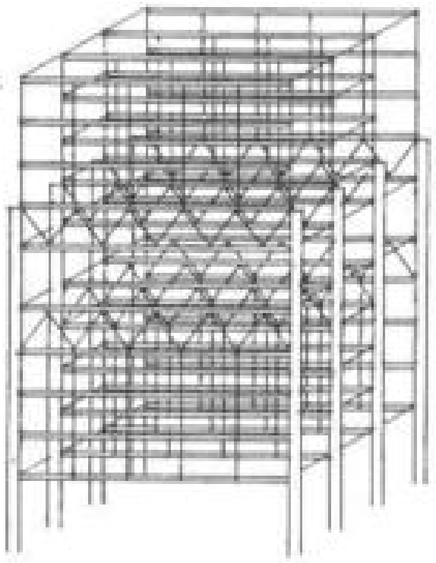
1



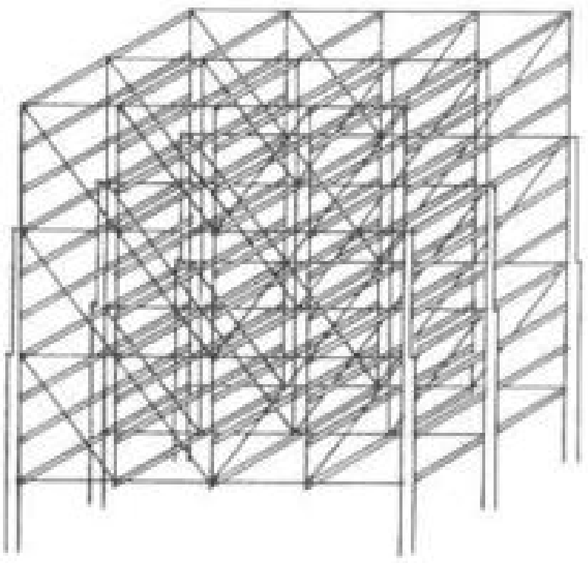
2



5



543



# Sistemas de estructuras de forma activa
# Sistemas estruturais de forma-ativa

1

# 1 Forma activa

## Sistemas de estructuras de

Un material no rígido y flexible, con una forma determinada y fijado por sus extremos, puede sostenerse por sí mismo y cubrir un espacio: sistemas de estructuras de forma activa.

El cable suspendido en vertical, que transmite la carga directamente al punto de suspensión, y el pilar vertical, que transfiere la carga directamente en sentido opuesto al punto de apoyo, son antecedentes de los sistemas de estructuras de forma activa.

El pilar vertical y el cable suspendido en vertical son los prototipos de los sistemas de forma activa. Transmiten las cargas exclusivamente a través de esfuerzos normales, es decir, compresiones o tracciones.

Uniendo dos cables suspendidos en diferentes puntos se obtiene un cable portante que, además de soportar su propio peso, puede transmitir cargas lateralmente a través de esfuerzos de tracción.

La forma inversa del cable portante es el arco funicular. La forma ideal del arco funicular para una carga determinada es la línea de suspensión correspondiente a dicha carga.

Por lo tanto, la característica de los sistemas estructurales de forma activa es que desvían las fuerzas exteriores a través de fuerzas normales: el arco funicular mediante compresión y el cable suspendido mediante tracción.

Los sistemas de estructuras de forma activa desarrollan en sus puntos de anclaje esfuerzos horizontales. La absorción de estos esfuerzos es el problema esencial al proyectar un sistema estructural de forma activa.

El mecanismo portante de los sistemas de estructuras de forma activa depende, sobre todo, de la forma del material. Desviarse de la forma correcta, en caso de que pueda ejecutarse, cuestiona la eficacia del sistema o exige mecanismos adicionales de transmisión que compensen este desvío.

En un caso ideal, la forma de las estructuras de forma activa responde exactamente a la distribución de esfuerzos. Por consiguiente, las estructuras de forma activa son la expresión material de las direcciones "naturales" de las fuerzas.

La línea "natural" de los esfuerzos en un sistema de compresiones de forma activa es el arco funicular, y la de un sistema de tracciones de forma activa es el cable suspendido. El arco funicular y el cable suspendido son el resultado, por un lado, de las fuerzas actuantes sobre el sistema y, por el otro, de la flecha y la separación entre los puntos fijos.

Por lo tanto, el arco funicular y el cable suspendido son la segunda característica de los sistemas estructurales de forma activa.

Cualquier variación en las condiciones de carga o en los puntos de fijación modifica la forma del arco funicular o de la línea de suspensión y crea una nueva forma estructural. Mientras que el cable suspendido, en tanto que sistema "elástico", adopta por sí mismo la nueva línea de suspensión al variar las cargas, el arco funicular, en tanto que sistema "resistente", ha de absorber a través de su rigidez (mecanismo de flexión), la variación en la línea de esfuerzos.

Como el cable suspendido modifica su forma al variar la carga, siempre ha de coincidir con la línea de suspensión de la carga correspondiente. En cambio, como el arco no puede variar su forma, sólo puede ser el arco funicular para un determinado estado de cargas.

Las estructuras de forma activa, debido a su dependencia del estado de cargas, están sometidas a la estricta disciplina de la "transmisión natural de los esfuerzos" y, por lo tanto, no se les puede dar una forma arbitraria.

La ligereza del cable suspendido flexible y la pesadez del arco funicular rigidizado frente a las variaciones de carga, son los inconvenientes de los sistemas de estructuras de forma activa. Pueden superarse pretensando las estructuras.

Del mismo modo que se puede estabilizar el cable suspendido pretensándolo para poder absorber fuerzas dirigidas hacia arriba, también se puede precomprimir el arco funicular, mediante elementos a tracción, para absorber cargas asimétricas sin alcanzar una flexión crítica.

El arco funicular y el cable suspendido, debido a que sólo están sometidos a solicitaciones de compresión o tracción simples, son sistemas que permiten cubrir un espacio empleando la mínima cantidad de material posible

Los sistemas de forma activa, debido a su identidad con la transmisión "natural" de cargas, son los mecanismos adecuados para conseguir grandes luces y construir grandes espacios diáfanos.

Dado que las estructuras de forma activa transmiten las cargas por un camino directo, pueden considerarse como vigas lineales, tanto en su esencia como por su manera de trabajar. Esto también es válido para redes de cables, membranas o cúpulas reticulares, en los que la transmisión de cargas, a pesar de realizarse a través de varios ejes, es lineal por ausencia del mecanismo de esfuerzo cortante.

Varios sistemas estructurales de forma activa se pueden unir para formar estructuras de superficie. Si se ha de conservar la principal característica de las estructuras de forma activa –poseer un estado de tensiones sencillo– también han de someterse a las leyes del arco funicular o del cable suspendido.

Sin embargo, el arco funicular y el cable suspendido no sólo son los elementos básicos de los sistemas estructurales de forma activa, sino que también representan la idea elemental de cualquier mecanismo portante y, por ello, son el símbolo técnico de la construcción de espacios por el hombre.

Las propiedades de las estructuras de forma activa pueden aplicarse a todos los demás sistemas de estructuras. Son una parte fundamental para el funcionamiento del mecanismo portante, sobre todo en el caso de las estructuras de superficie activa.

Las estructuras de forma activa, debido a su capacidad para cubrir grandes luces, poseen un significado especial para la civilización de masas y sus necesidades de grandes espacios. Son, en potencia, la forma portante para la construcción del futuro.

El conocimiento de las leyes que rigen la transmisión de cargas en las estructuras de forma activa es un requisito previo para proyectar cualquier tipo de estructura y, por ello, constituye la primera base científica para cualquier ingeniero o arquitecto.

Um material não rígido, flexível, formado de modo definido e suportado por extremidades fixas, que pode suportar-se a si próprio e cobrir um vão: essa é a definição dos sistemas estruturais de forma-ativa.

São antecessores dos sistemas estruturais de forma-ativa, o cabo de suspensão vertical, que transmite a carga diretamente ao ponto de suspensão, e a coluna vertical, que, em direção reversa, transfere a carga diretamente ao ponto da base.

A coluna vertical e o cabo de suspensão vertical são protótipos de sistemas estruturais de forma-ativa. Eles transmitem as cargas somente através de esforços normais simples; isto é, através de compressão e de tração.

Dois cabos com diferentes pontos de suspensão, ligados um ao outro, formam um sistema de suspensão que pode suportar seu peso próprio e transferir cargas lateralmente através de simples esforços elásticos.

Um cabo de suspensão invertido para cima forma um arco funicular. A forma ideal de um arco para uma certa condição de carga é a linha de tração funicular correspondente a esta mesma carga.

A caracteristica dos sistemas estruturais de forma-ativa é, por tanto, desviar as forças externas por meio de esforços normais simples: o arco por compressão; e o cabo de suspensão, por tração.

Os sistemas estruturais de forma-ativa desenvolvem em suas extremidades esforços horizontais. A absorção desses esforços constitui o maior problema do projeto desses sistemas.

O mecanismo de suporte dos sistemas de forma-ativa reside essencialmente na forma material. O desvio da forma correta pode pôr em risco o funcionamento do sistema ou exigir mecanismos adicionais que compensem tal desvio.

A forma dos sistemas estruturais de forma-ativa, em um exemplo ideal, coincide precisamente com o fluxo dos esforços. Os sistemas estruturais de forma-ativa são, portanto, a trajetória 'natural' das forças em questão.

A linha 'natural' de esforços de um sistema de compressão de forma-ativa é a linha funicular de pressão, e a do sistema de tração de forma-ativa é a linha funicular de tração. A linha de pressão e a linha de tração são determinadas, por um lado, pelas forças que se encontram trabalhando no sistema e, por outro, pela flecha de distância entre as extremidades.

A linha de pressão funicular e a linha de tração são a segunda característica dos sistemas estruturais de forma-ativa.

Qualquer variação da carga ou das condições de apoio afeta a forma da curva funicular, e origina uma nova forma de estrutura. Enquanto o cabo de suspensão, como um 'sistema elástico' baixo novas cargas, assume por si uma nova linha de tração, o arco, como um 'sistema inelástico', deve compensar a linha de pressão transformada através de sua rigidez (mecanismo de flexão).

Dado que o cabo de suspensão, baixo diferentes cargas, muda a sua forma, a curva funicular é sempre da carga atuante. Por outro lado, o arco, que não pode variar sua forma, pode ser funicular somente para uma certa condição de carga.

Os sistemas estruturais de forma-ativa, em virtude de sua dependência das condições de carga, são estritamente influenciados pela disciplina do fluxo 'natural' das forças, e por conseqüência, não podem estar sujeitos à forma livre e arbitrária do projeto. A forma e o espaço arquitetônicos são o resultado do mecanismo de flexão.

A leveza do cabo flexível de suspensão e o peso do arco enrijecido contra uma variedade de cargas adicionais são os defeitos arquitetônicos dos sistemas estruturais de forma-ativa. Podem ser eliminados em grande parte por meio de sistemas de protensão.

Assim como o cabo de suspensão pode ser estabilizado por protensão de modo que possa absorver forças adicionais que também podem ser dirigidas para cima, é igualmente possível pré-comprimir o arco até um grau que possa mudar a direção das cargas assimétricas sem flexões críticas

O arco e o cabo de suspensão, em virtude de seus esforços apenas por simples compressão ou tração, são, no que se refere à relação peso / vão, os sistemas mais econômicos para cobrir um espaço

Por causa de sua identificação com o fluxo 'natural' das forças, os sistemas estruturais de forma ativa são os mecanismos mais convenientes para cobrir grandes vãos e formar amplos espaços.

Visto que os sistemas estruturais de forma-ativa distribuem as cargas na direção da resultante, são com efeito, suportes lineares. Isso aplica-se também às redes de cabos, membranas ou cúpulas nas quais as cargas, através da dispersão em mais de um eixo, são ainda transferidas de modo linear em virtude da ausência de mecanismo de cisalhamento.

Os elementos estruturais de forma-ativa podem ser condensados para formar estruturas de superfície. Se a condição de esforços simples, caracteristica desses sistemas, deve ser mantida, eles também estão sujeitos às regras da linha de pressão funicular e da linha de tração.

O arco e o cabo de suspensão, entretanto, não são somente a essência material dos sistemas estruturais de forma-ativa, mas também a idéia elementar para qualquer mecanismo de suporte, e, conseqüentemente, são o verdadeiro símbolo da exploração do espaço realizado pelo homem.

As qualidades de forma-ativa podem ser produzidas em todos os outros sistemas estruturais. Especialmente nos sistemas estruturais de superfície-ativa, onde constituem um elemento essencial para o funcionamento do mecanismo portante.

Os sistemas estruturais de forma-ativa, em virtude de suas qualidades para cobrir grandes vãos, encerram um significado especial para a civilização, com suas demandas para amplos espaços livres e constituem um potencial de formas estruturais para as futuras construções.

O conhecimento das leis da redistribuição de forças em forma-ativa é o requisito para o projeto de qualquer sistema estrutural, e por conseqüência, essencial para o arquiteto ou engenheiro interessado no desenho estrutural.

# 1 Forma activa

## Sistemas de estructuras de

Definición / Definição

ESTRUCTURAS DE FORMA ACTIVA
son sistemas portantes de material flexible, no rígido, en los que la transmisión de cargas se efectúa a través de una FORMA adecuada y una ESTABILIZACIÓN DE LA FORMA característica.

SISTEMAS DE ESTRUTURAS DE FORMA-ATIVA
são sistemas estruturais flexíveis, de matéria não rígida, nos quais a redistribuição de forças é efetuada através do particular PROJETO DA FORMA e da característica ESTABILIZAÇÃO DA FORMA.

Fuerzas / Forças

Los componentes básicos de la estructura sólo están sometidos a esfuerzos normales, es decir, a compresión o tracción:
ESTRUCTURAS EN ESTADO DE TENSIONES SENCILLO

Seus componentes básicos são submetidos principalmente a um só tipo de tensão normal, isto é, ou à compressão ou à tensão:
SISTEMAS EM UMA ÚNICA CONDIÇÃO DE TENSÃO

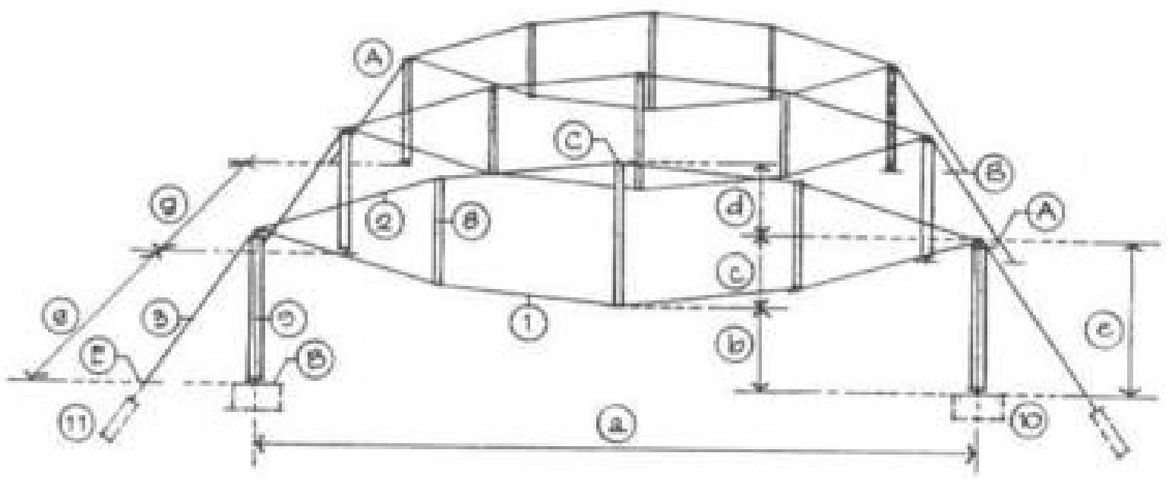
Características / Características

Las características estructurales más típicas son:
CATENARIA (LÍNEA DE SUSPENSIÓN) / ARCO FUNICULAR / CÍRCULO

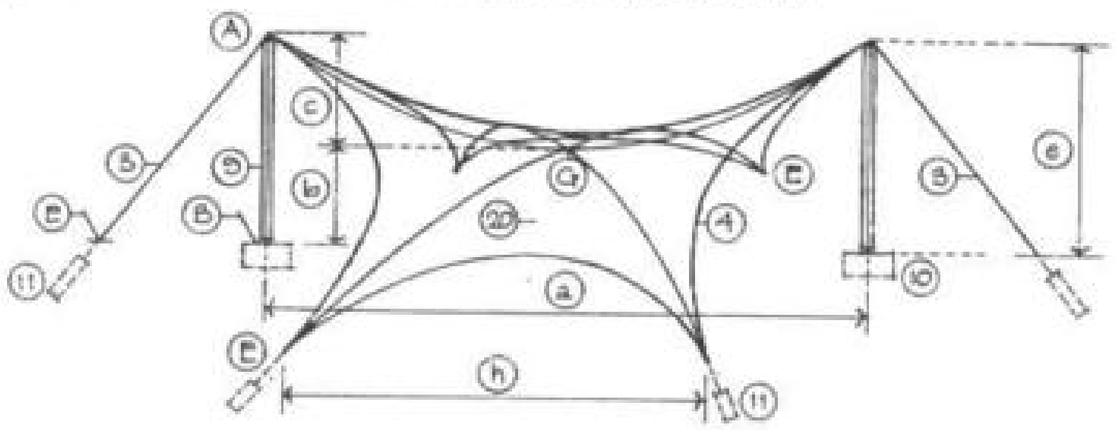
As típicas características das estruturas são:
CATENÁRIA / LINHA DE EMPUXO (LINHA DE PRESSÃO) / CÍRCULO

## Componentes y denominaciones / Componentes e denominações

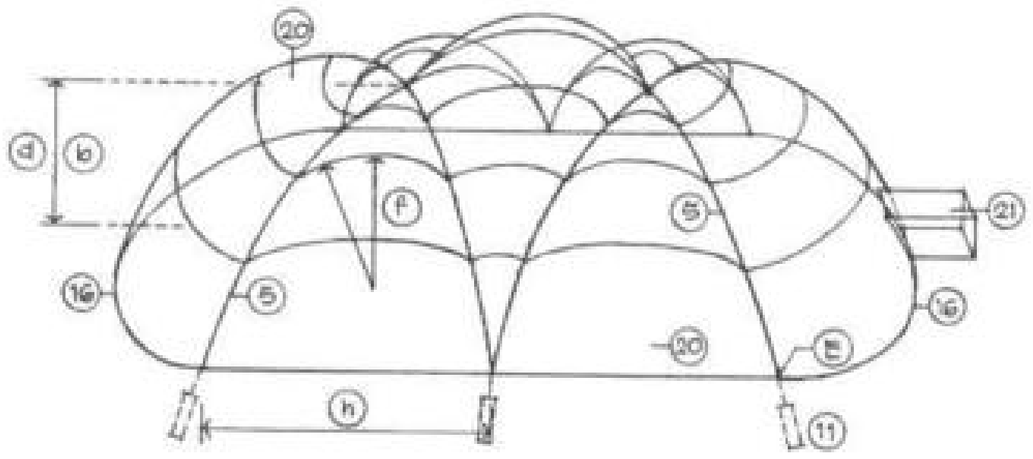
11 Estructuras de cables / Sistemas de cabo



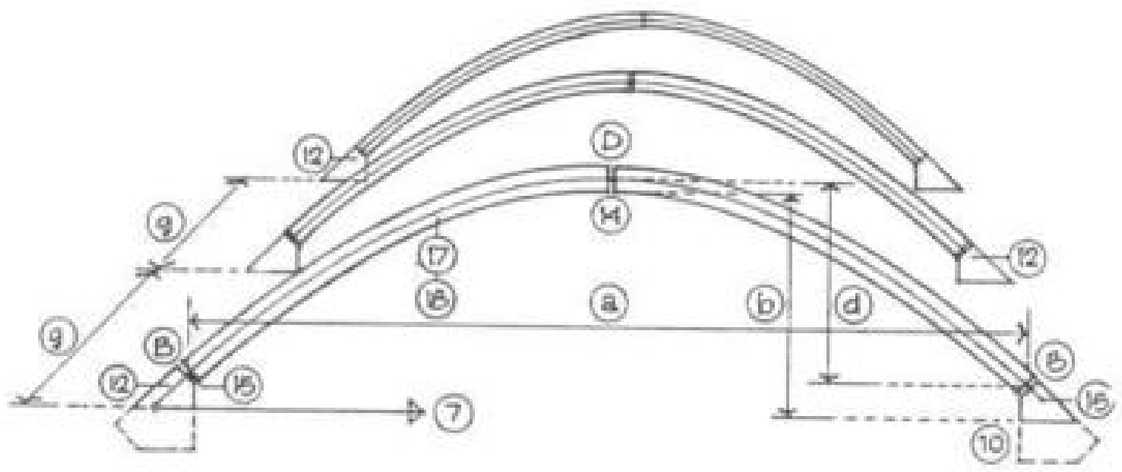
12 Estructuras en forma de tienda / Sistemas de tenda



13 Estructuras neumáticas / Sistemas pneumáticos



14 Estructuras de arcos / Sistemas de arco



Partes del sistema / Componentes dos sistemas

| | |
|---|---|
| ① cable portante, cable de carga | cabo de suspensão, cabo de carga |
| ② cable de estabilización, cable atirantado | cabo de estabilização, cabo de tensão |
| ③ cable de retención, cable de arriostramiento | cabo de retenção |
| ④ cable de borde | cabo de beira, cabo de borda |
| ⑤ cable de limahoya | cabo de vale |
| ⑥ cable de suspensión | suspensor |
| ⑦ barra a tracción, anclaje a tracción | barra de acoplamento, tirante |
| ⑧ barra a compresión, puntal | barra de compressão, separador |
| ⑨ pilar, pilón, mástil | coluna, torre, mastro, suporte |
| ⑩ cimiento, cimentación | fundação, equilíbrio |
| ⑪ anclaje en tierra, anclaje de retención | ancoragem de solo, ancoragem de retenção |
| ⑫ estribo | estribo |
| ⑬ articulación | peça de união, articulação |
| ⑭ articulación de cumbrera | coroa de articulação, articulação superior, articulação chave |
| ⑮ articulación de base, articulación de imposta | articulação base, articulação imposta |
| ⑯ anillo de anclaje | anel de âncora |
| ⑰ arco, arco funicular | arco, arco funicular |
| ⑱ arco articulado | arco encaixado, arco fixo |
| ⑲ contrafuerte | contraforte |
| ⑳ membrana portante | membrana de apoio |
| ㉑ esclusa de aire | fechamento de ar |
| ㉒ | |

①-③ Cables funcionales / Cabos funcionais

Puntos topográficos del sistema

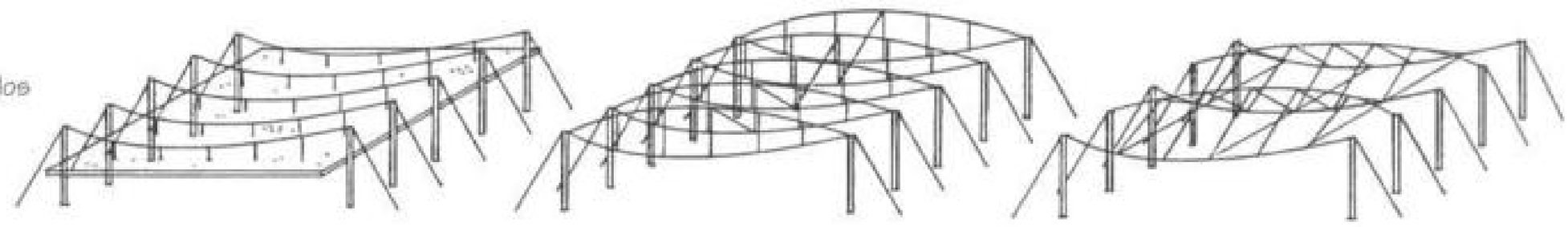
| | |
|---|---|
| Ⓐ punto de suspensión | Sistema topográfico de pontos |
| Ⓑ punto de base | ponto de suspensão |
| Ⓒ cúspide | ponto de base |
| Ⓓ punto de cumbrera | cume, ponto alto |
| Ⓔ punto de anclaje, punto de retención | chave, topo, coroa, vértice, ápice |
| Ⓕ punto de apoyo | ponto de âncora, ponto de retenção |
| Ⓖ punto bajo | ponto de suporte, ponto de apoio |
| Ⓗ | ponto baixo |
| Ⓘ | |

Dimensiones del sistema / Dimensões do sistema

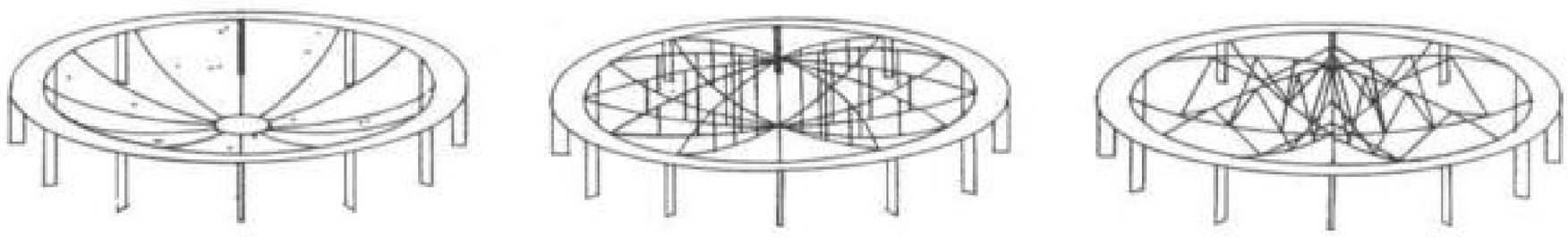
| | |
|---|---|
| ⓐ luz | vão |
| ⓑ altura libre | altura livre, espaço livre |
| ⓒ flecha del cable | flecha do cabo |
| ⓓ altura del arco (cable) | altura do arco (cabo) |
| ⓔ altura del pilar | altura de coluna, altura do suporte |
| ⓕ radio de curvatura | raio de curvatura |
| ⓖ separación entre pórticos | espaço, distância entre pórticos |
| ⓗ separación entre los puntos de anclaje | distância dos pontos de ancoragem |

## 11 Estructuras de cables / Sistemas de cabo

Estructuras de cables paralelos
Sistemas de cabos paralelos

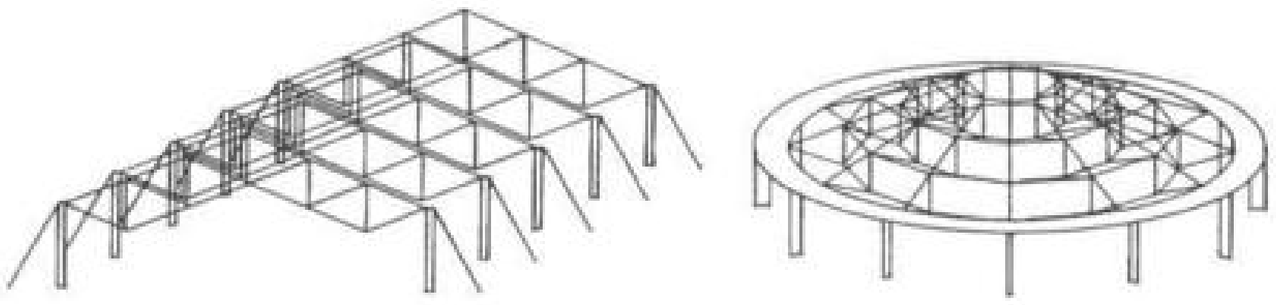


Estructuras de cables radiales
Sistemas de cabos radiais



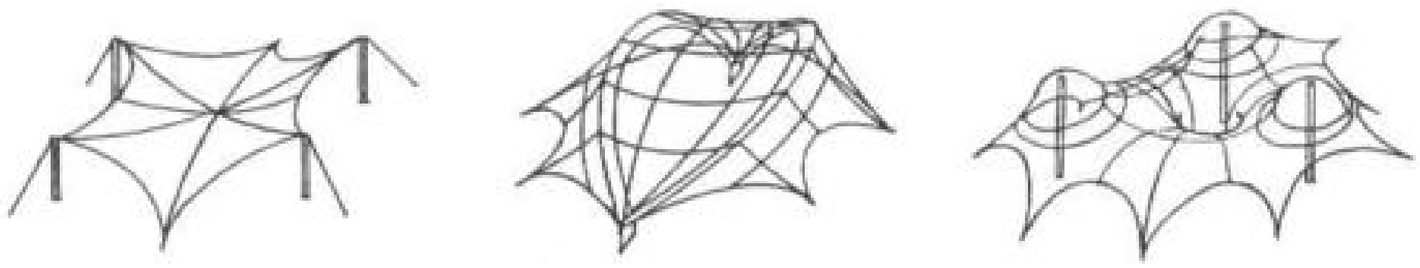
Estructuras de cables biaxiales
Sistemas de cabos biaxiais

Celosías de cables
Treliças de cabo

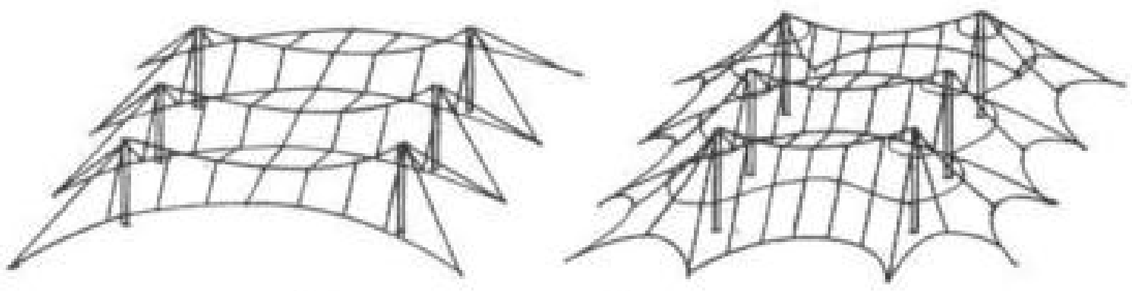


## 12 Estructuras en forma de tienda / Sistemas de tenda

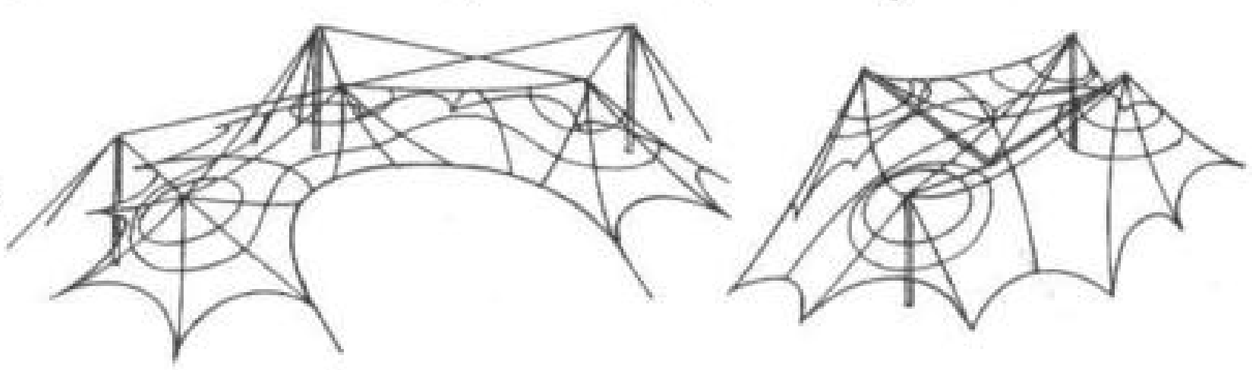
Tiendas apuntadas
Sistemas de tendas apontadas



Tiendas onduladas
Sistemas de tendas onduladas



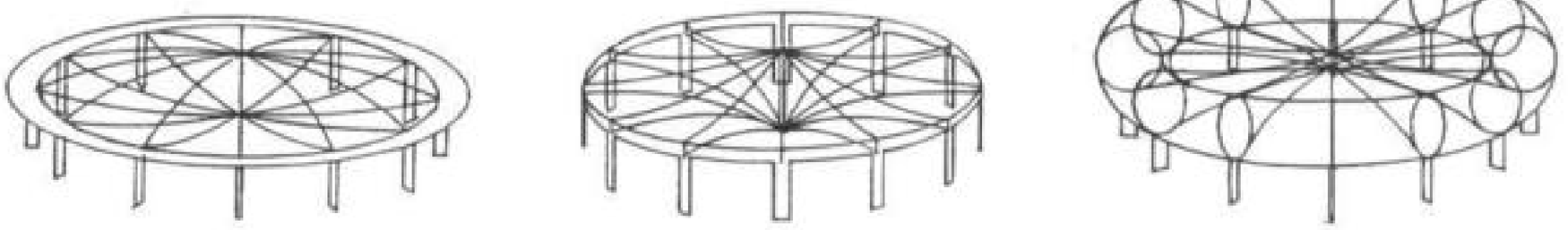
Tiendas apuntadas indirectas
Tendas apontadas indiretas



## 13 Estructuras neumáticas / Sistemas pneumáticos

Sistemas de naves neumáticas
Sistemas de controle de ar interno

Sistemas de colchones de aire
Sistemas de colchão de ar

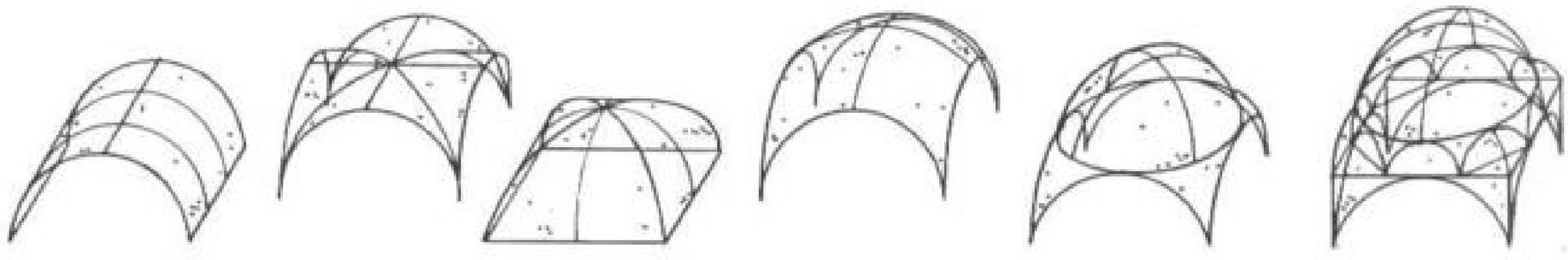


Sistemas de tubos de aire
Sistemas de tubos de ar

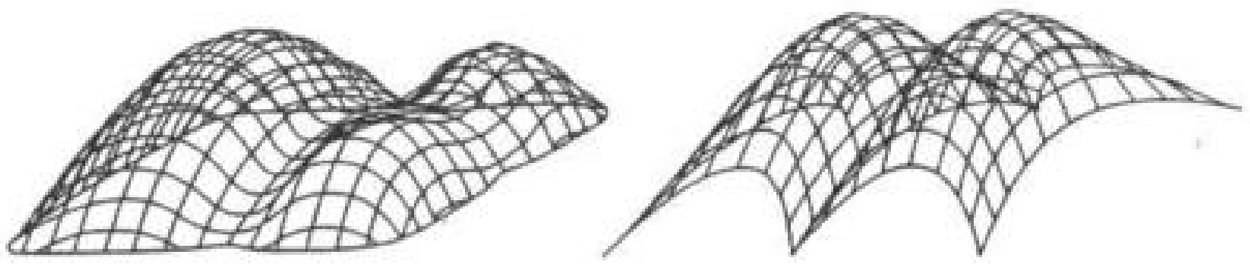
## 14 Estructuras de arcos / Sistemas de arco

Arcos lineales
Arcos lineares

Bóvedas
Abobadas

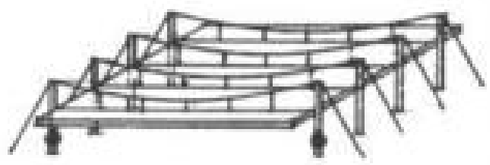
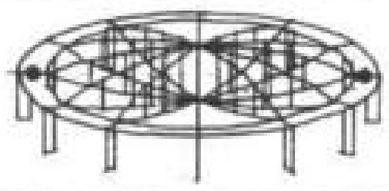
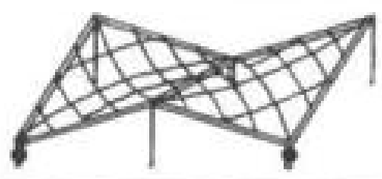
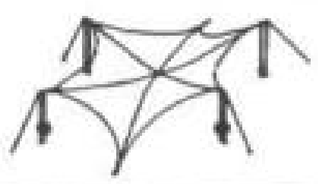
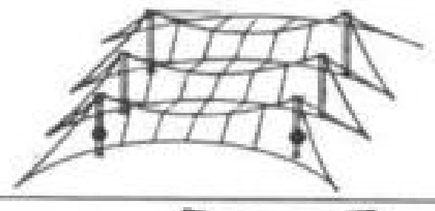
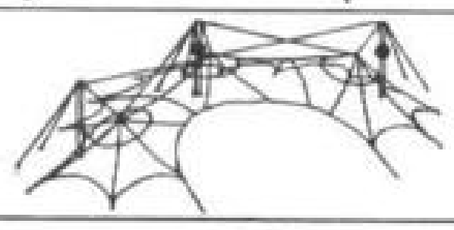
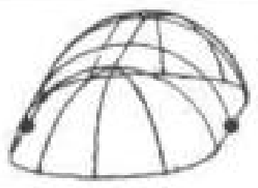
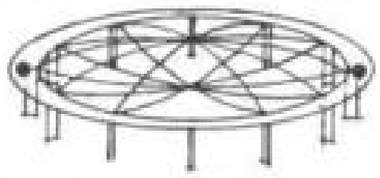
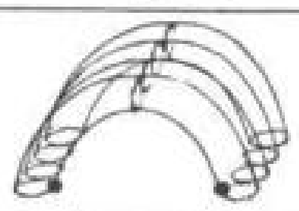
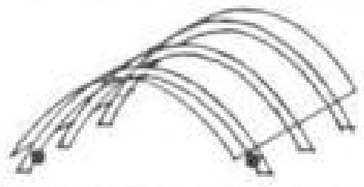
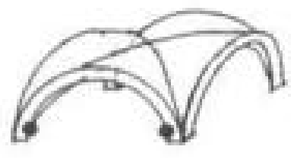
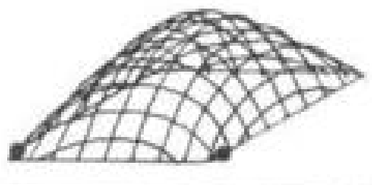


Retículas abovedadas
Reticulas abobadadas



Aplicaciones: sistema de estructura - material de construcción - luces

Aplicações: sistema estrutural - material - vão

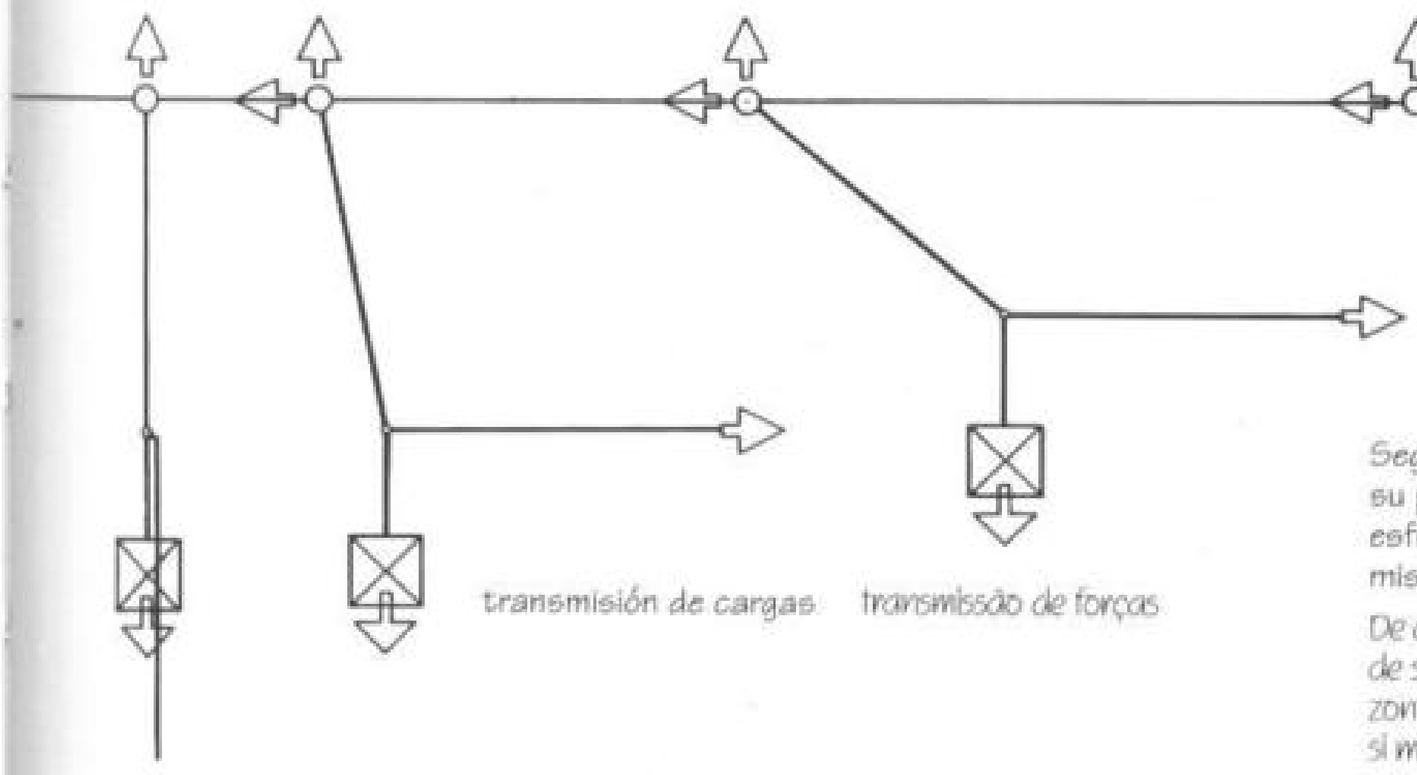
| Sistema de estructura / Sistema estrutural | | Material básico | Materia prima | Luces en metros / Vãos em metros: 0 5 10 15 20 25 30 40 50 60 80 100 150 200 250 300 400 500 |
|---|---|---|---|---|
| Estructuras de CABLES 1.1 Sistemas de CABO |  | sólo metal; metal + hormigón armado | só metal; em metal + concreto armado | 50 — 80 — 500 |
| |  | sólo metal; metal + hormigón armado | só metal; em metal + concreto armado | 30 — 60 — 200 — 250 |
| |  | sólo metal; metal + hormigón armado / + madera | só metal; em metal + concreto armado / + madeira | 25 — 50 — 120 — 200 |
| Estructuras en forma de TIENDA 1.2 Sistemas de TENDA |  | textil + metal / + madera; pláetico + metal / + madera | tecido + metal / + madeira; plástico + metal / + madeira | 5 — 10 — 25 — 40 |
| |  | textil + metal / + madera; pláetico + metal / + madera | tecido + metal / + madeira; plástico + metal / + madeira | 20 — 30 — 70 — 100 |
| |  | plástico + metal / + horm. armado; textil + metal / + horm. armado | plástico + metal / + concreto; tecido + metal / + concreto | 20 — 30 — 80 — 150 |
| Estructuras NEUMÁTICAS 1.3 Sistemas PNEUMÁTICOS |  | plástico + metal | plástico + metal | 10 — 40 — 50 — 70 — 90 — 220 — 300 |
| |  | plástico + metal / + madera / + hormigón armado | plástico + metal / + madeira / + concreto | 20 — 70 — 120 |
| |  | plástico | plástico | 10 — 50 — 70 |
| Estructuras de ARCOS 1.4 Sistemas de ARCO |  | hormigón armado; madera laminada; metal | concreto armado; madeira laminada; metal | 15 — 25 — 70 — 100 |
| |  | obra de fábrica | alvenaria | 4 — 8 — 20 — 50 |
| |  | metal; madera | metal; madeira | 10 — 20 — 30 — 150 |

A cada tipo de estructura le corresponde un estado de tensiones específico en cada uno de sus componentes. De aquí se desprenden unas condiciones vinculantes en la elección del material básico de construcción y en las luces que pueden alcanzarse

Para cada tipo de estrutura há uma condição de tensão específica inerente aos seus componentes. Esse trato essencial submete o projeto das estruturas a afiliações racionais na escolha dos princípios tecidos estruturais, e a atribuição da capacidade do vão

## Relación entre la dirección de los esfuerzos y la forma estructural del cable

## Relação entre a direção dos esforços e a forma estrutural do cabo

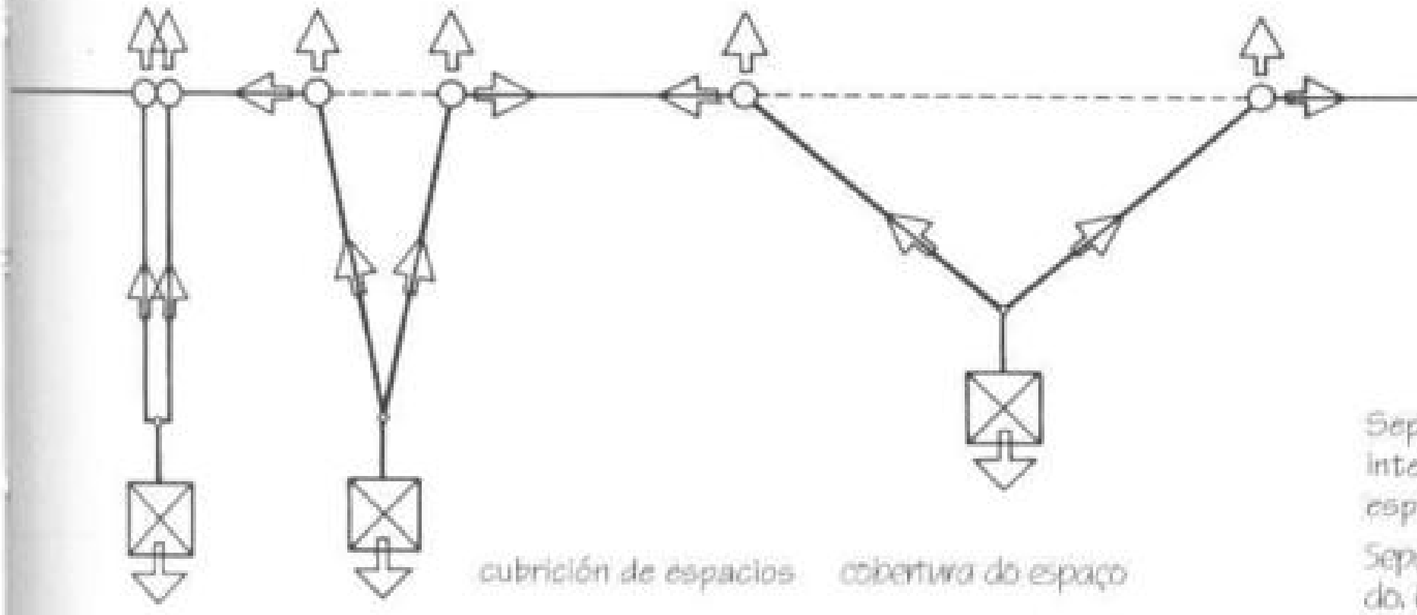


transmisión de cargas

transmissão de forças

Según la magnitud de las fuerzas horizontales se trasladará la carga desde su punto de actuación. Uniendo dos estructuras simétricas se equilibran los esfuerzos horizontales. El sistema de transmisión de fuerzas se cierra en sí mismo

De acordo com a grandeza da força horizontal, a carga deslocar-se-á de seu ponto de suspensão. Através de um acoplamento com um sistema simétrico as forças horizontais manter-se-ão em balanço. O sistema de redistribuição de esforço fecha-se em si mesmo

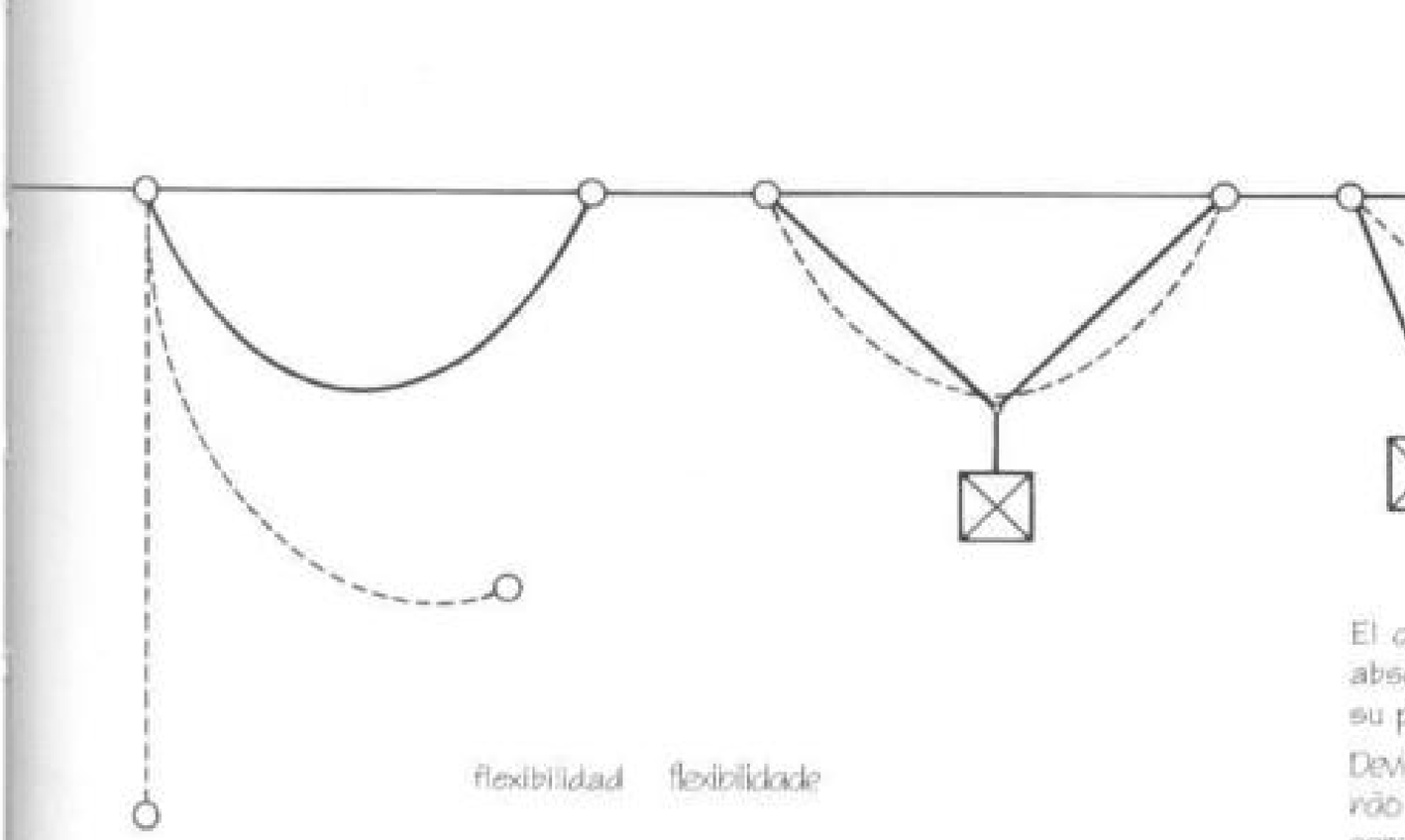


cubrición de espacios

cobertura do espaço

Separando los puntos de sujeción la carga queda suspendida en el espacio intermedio. El cable transmite la carga hacia ambos extremos y cubre el espacio. La forma del cable se ajusta a la distribución de los esfuerzos

Separando os pontos de suspensão, a carga ficará suspensa no espaço assim obtido. O cabo transmite a carga a ambos os lados, cobrindo assim um espaço aberto. A forma do cabo segue a direção dos esforços



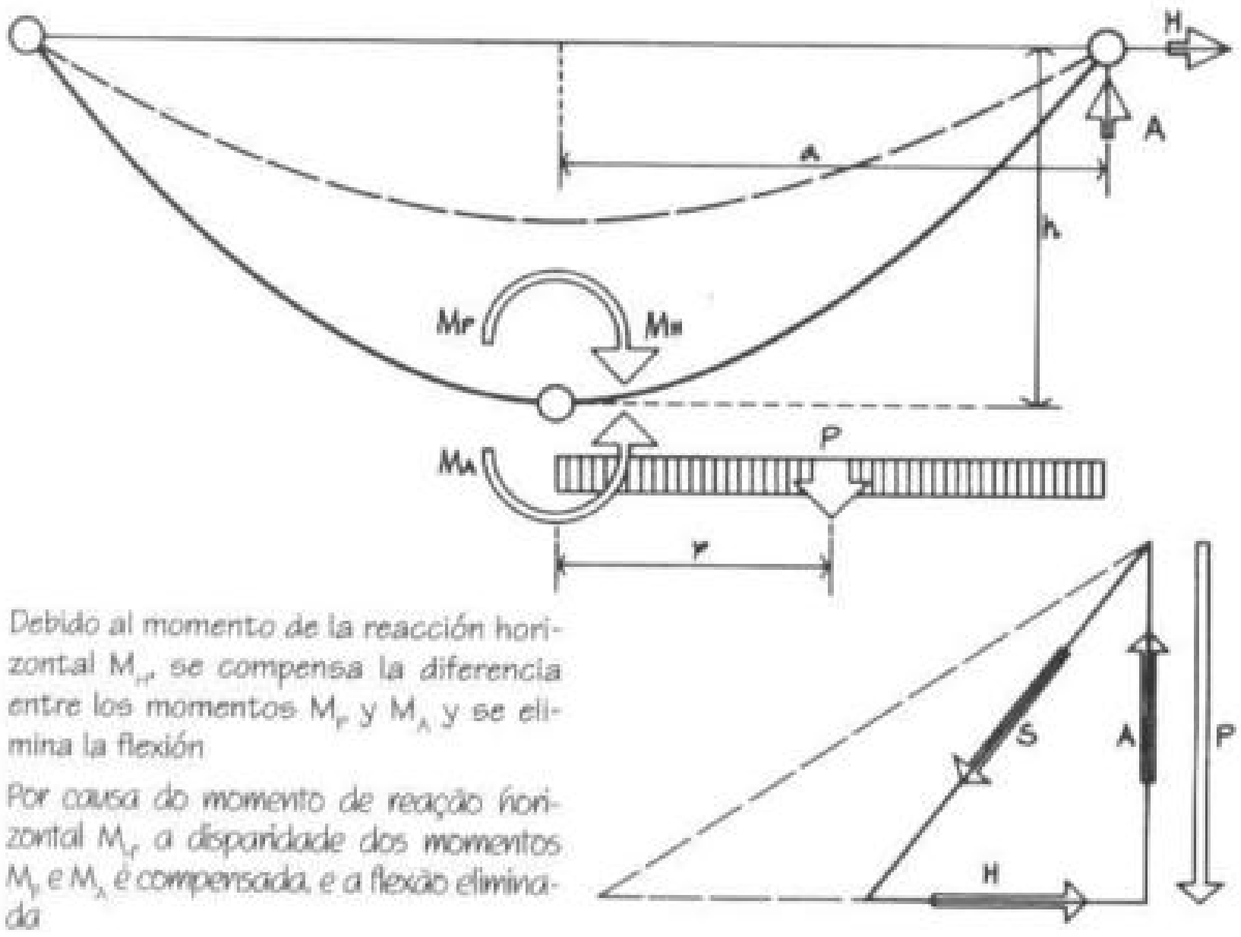
flexibilidad

flexibilidade

El cable, debido a su reducida relación entre sección y longitud, no puede absorber flexiones y modifica su forma cuando cambia el estado de cargas o su punto de aplicación

Devido à sua pequena secção transversal com relação ao seu comprimento, o cabo não pode resistir à flexão, e assim modifica a sua forma em cada nova condição de carga

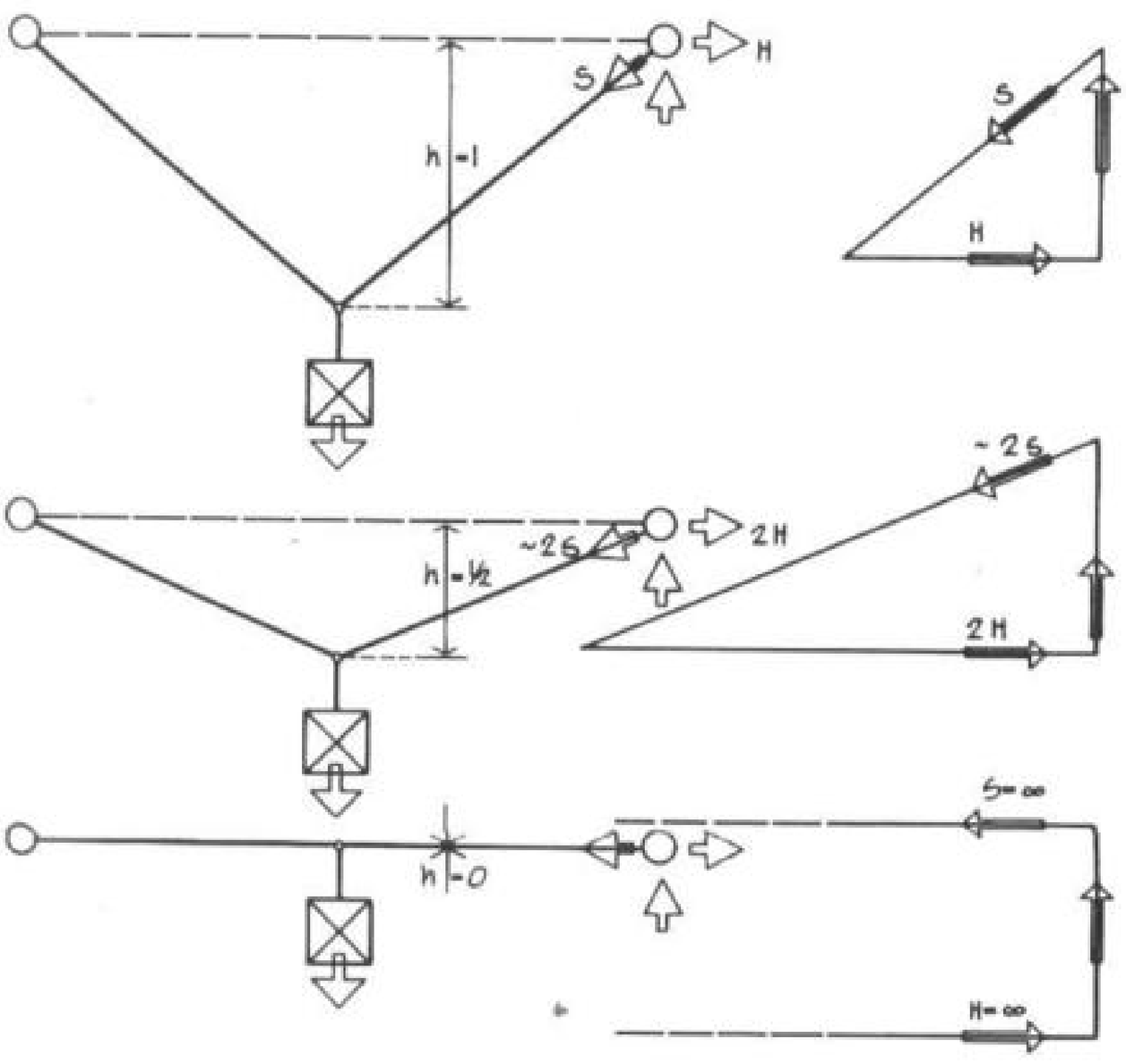
## Mecanismo de palanca del cable suspendido
## Mecanismo de alavanca do cabo de suspensão




Debido al momento de la reacción horizontal $M_H$, se compensa la diferencia entre los momentos $M_r$ y $M_A$ y se elimina la flexión

Por causa do momento de reação horizontal $M_H$, a disparidade dos momentos $M_r$ e $M_A$ é compensada, e a flexão eliminada

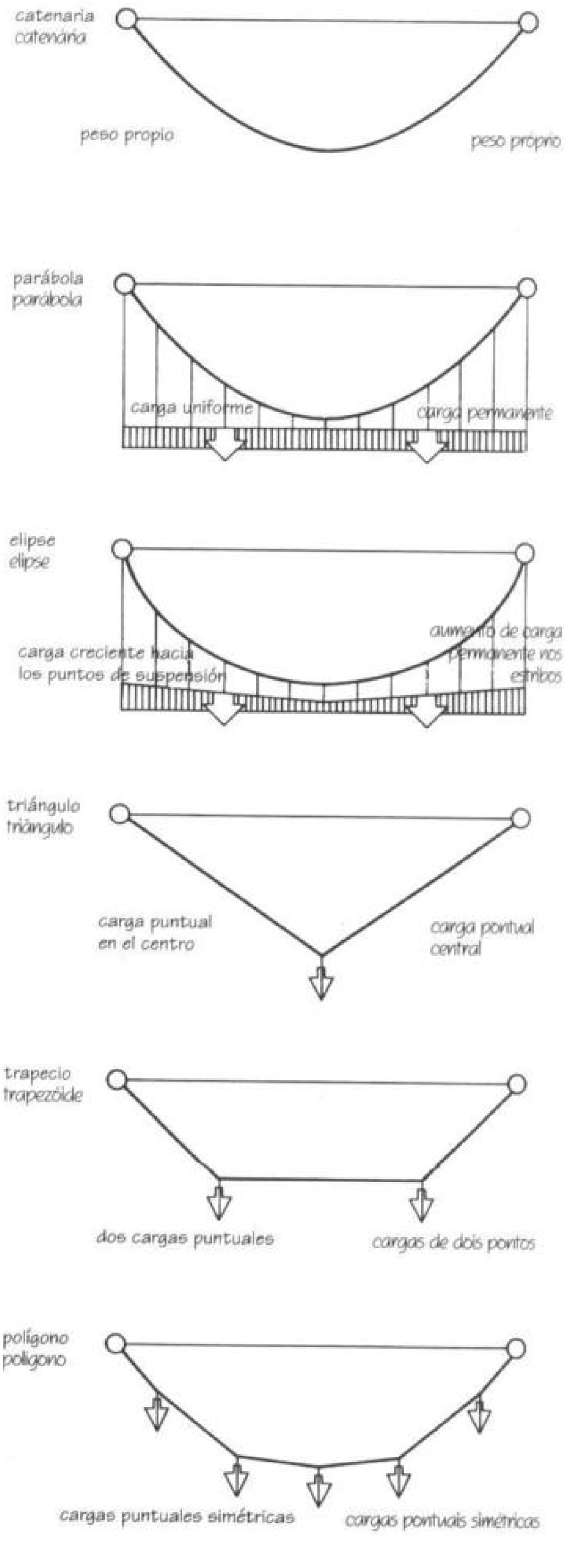
## Influencia de la flecha en la distribución de esfuerzos
## Influência da curvatura na distribuição de esforços




El esfuerzo S en el cable y el empuje horizontal H son inversamente proporcionales a su flecha. Si la flecha es igual a cero, el esfuerzo en el cable y el empuje horizontal se vuelven infinitamente grandes y el cable suspendido no puede absorber la carga

Os esforços S no cabo e o impulso horizontal H de um cabo de suspensão são inversamente proporcionais à flecha h. Se a flecha for zero, o esforço no cabo e o impulso horizontal tornar-se-ão infinitos, isto é, o cabo de suspensão não pode resistir à carga

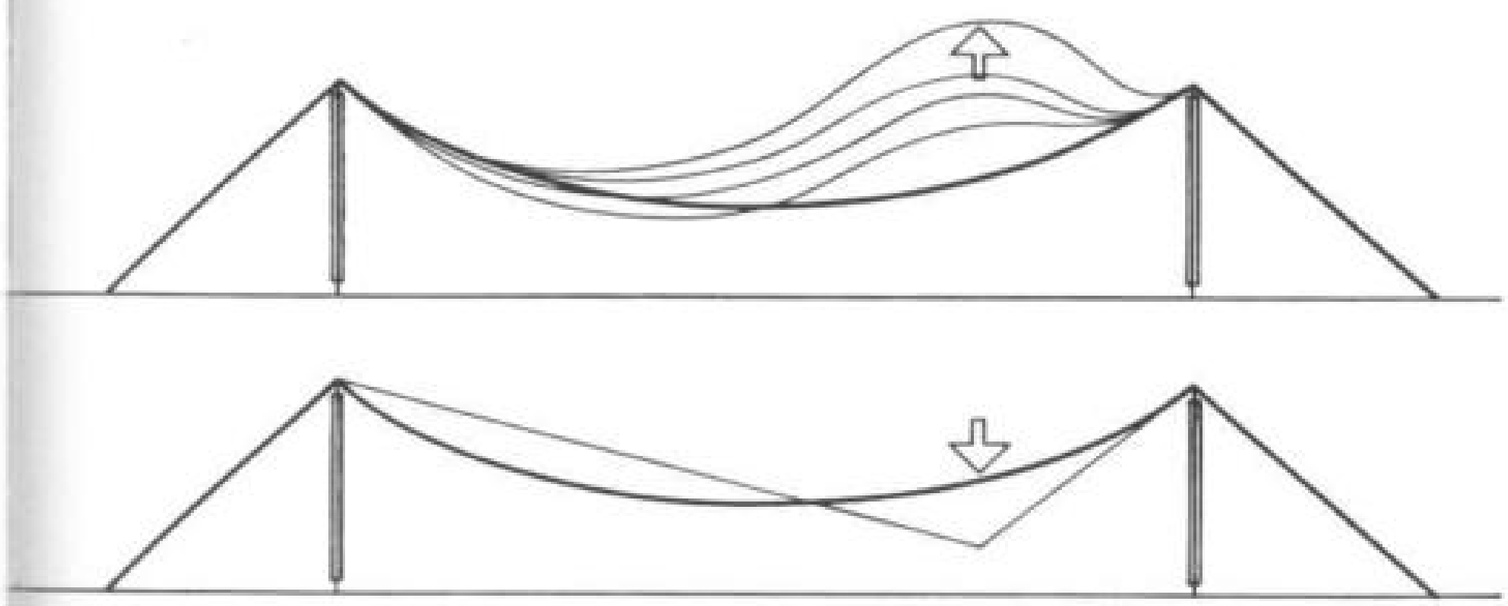
## Formas geométricas de un cable
## Formas geométricas funiculares



# Forma activa

## Sistemas de estructuras de 1

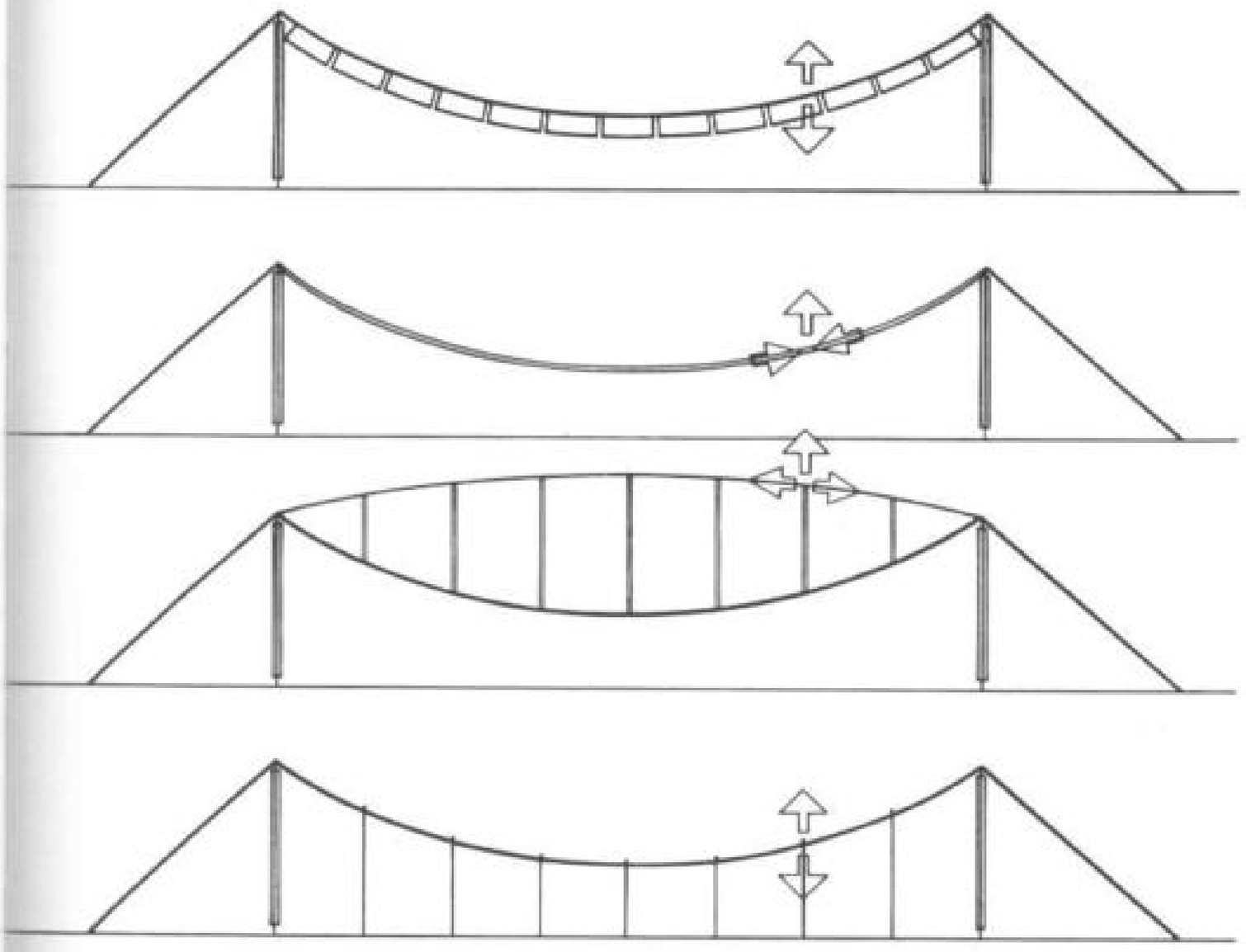
### Deformaciones críticas del cable suspendido
### Deformações críticas no cabo de suspensão



El cable suspendido, debido a su escaso peso propio en relación a la luz y a su flexibilidad, es muy sensible a la succión del viento, las vibraciones y las cargas asimétricas y dinámicas.

Devido ao pequeno peso próprio em relação ao seu vão, e sua flexibilidade, o cabo de suspensão é muito suscetível às elevações pelo vento, vibrações, cargas móveis e assimétricas.

### Estabilización del cable suspendido
### Estabilização do cabo de suspensão



aumento del peso propio

aumento do peso próprio

rigidización mediante construcción como arco invertido (o membrana)

enrijecimento pela construção em forma de arco invertido (ou casca)

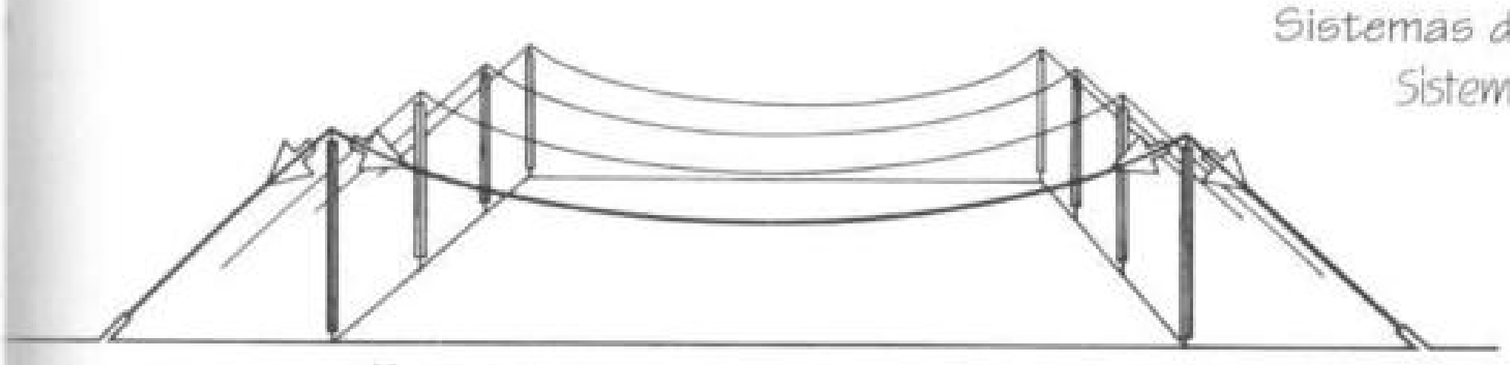
arriostramiento con un cable de curvatura opuesta

evasão contra um cabo de curvatura oposta

arriostramiento con cables transversales anclados al suelo

reforço com cabos transversais ancorados no solo

### Sistemas de tensado para cables suspendidos en paralelo
### Sistemas de retenção para cabos de suspensão paralelos



cable tensor

cabo de retenção

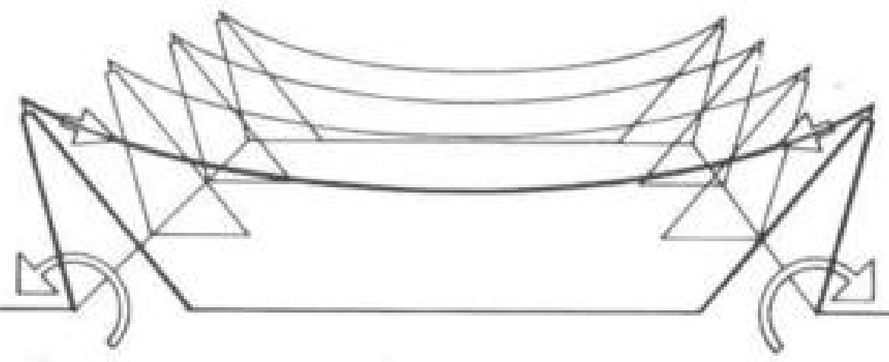
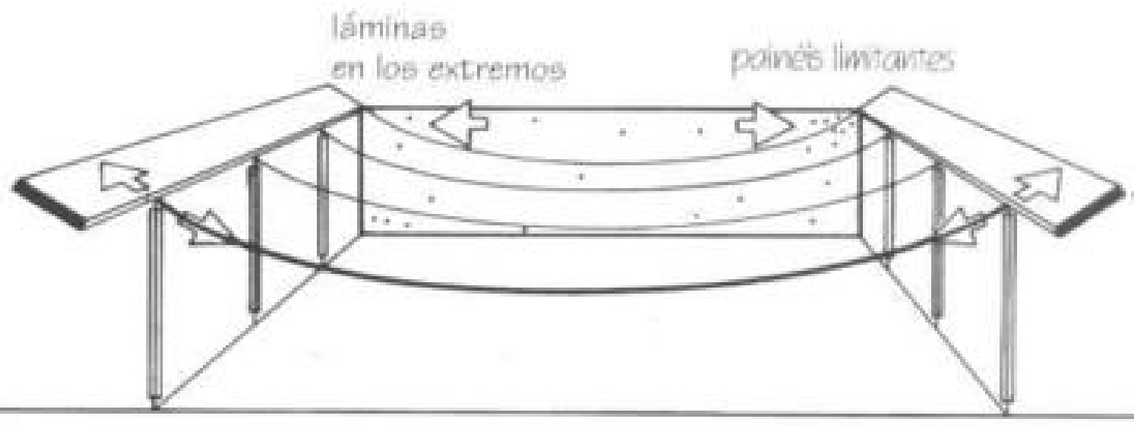


lámina resistente a flexión

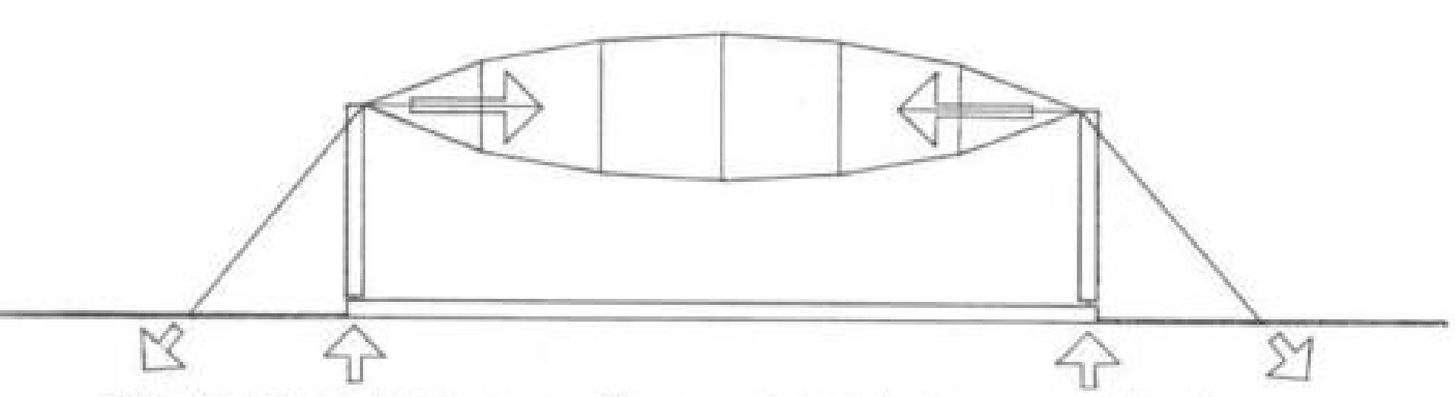
arcobotante



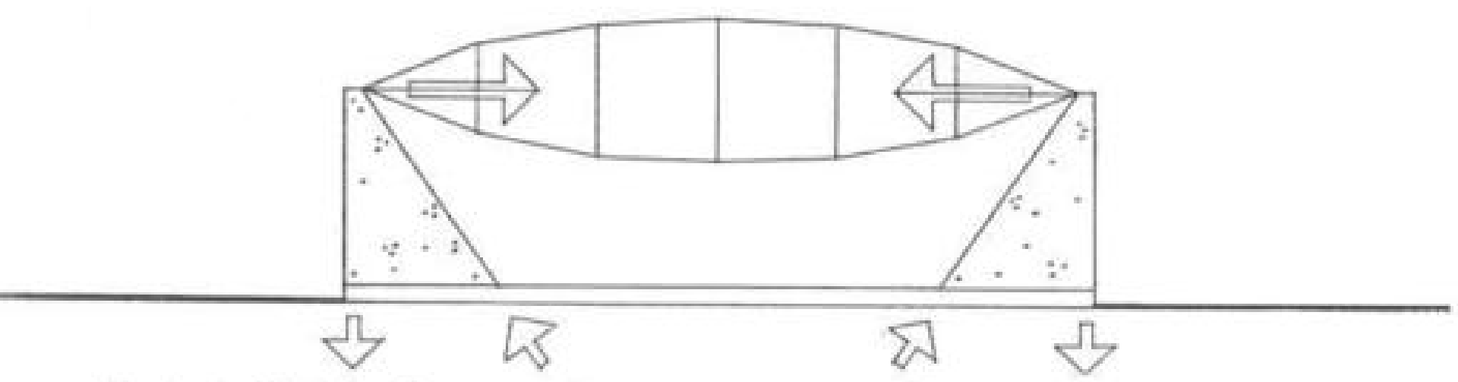

viga horizontal

viga horizontal

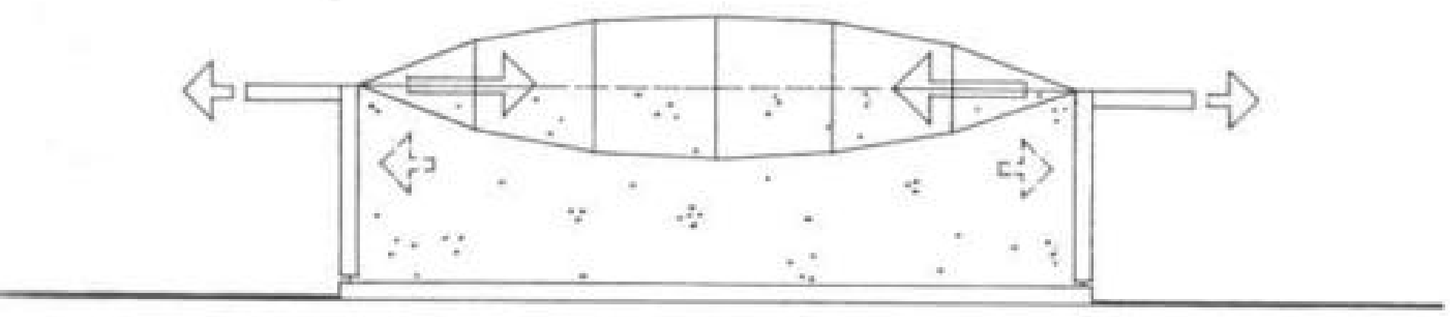
Sistemas de arriostramiento para estabilizar los puntos de suspensión
Sistemas de contenção para a estabilização de pontos em suspensão



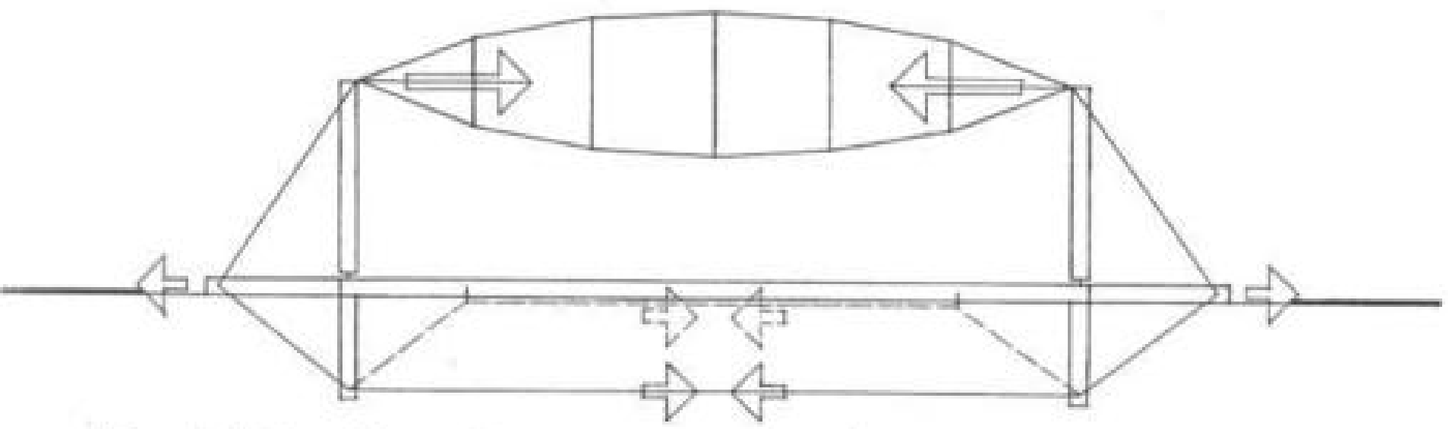
Tensado de los puntos de suspensión con anclaje de los tensores en el suelo
Cabo de contenção dos pontos em suspensão com cabos ancorados no solo



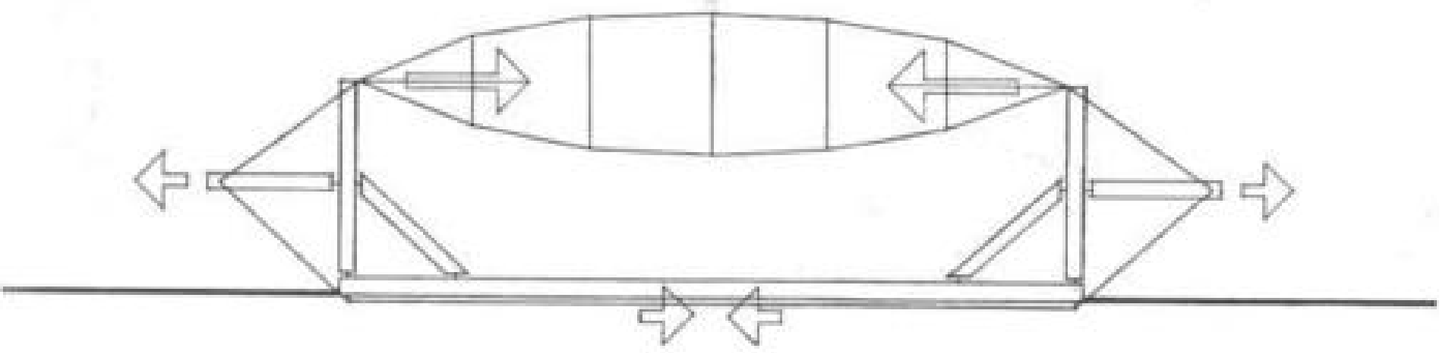
Reorientación de las fuerzas en los puntos de suspensión mediante contrafuertes o riostras
Redistribuição de forças nos pontos suspensos através de reforços ou contrafortes



Transmisión de las fuerzas mediante vigas horizontales a unas paredes transversales o vigas a compresión
Transmissão de forças de vigas horizontais a paredes transversais ou vigas de compressão



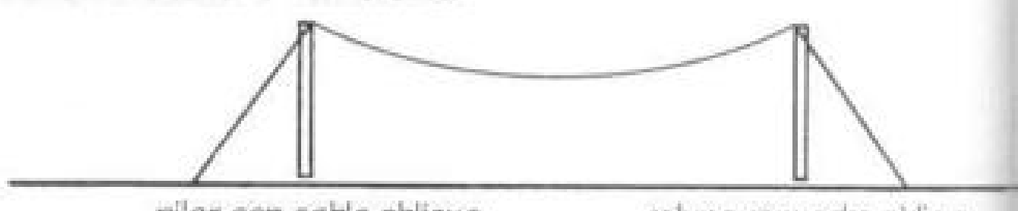
Tensado de los cables mediante un tirante a tracción bajo la losa del suelo
Cabo de contenção com conexão atirantada em balanço dentro da laje do chão



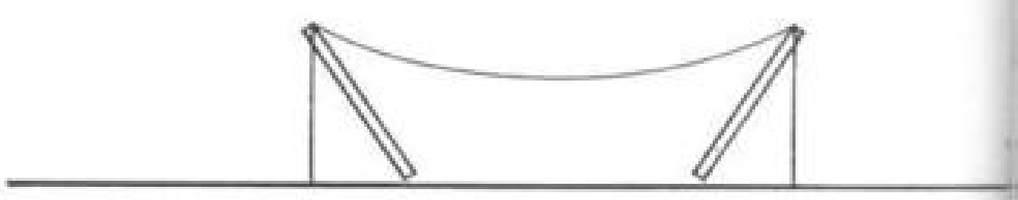
Tensado y arriostramiento mediante un tirante a tracción en la losa del suelo
Contenção e suporte com conexão atirantada dentro da laje do chão

## Estructuras para los puntos de suspensión
## Estruturas para pontos em suspensão

de forma activa / forma-ativa

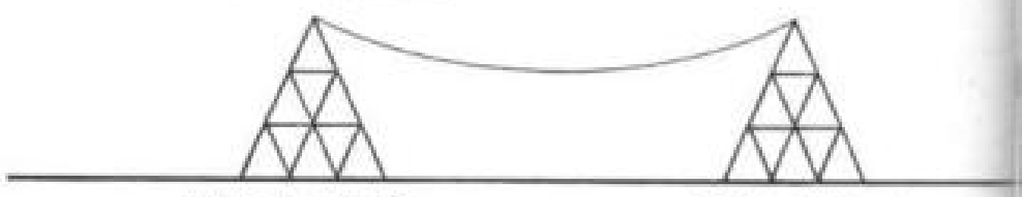


pilar con cable oblicuo — coluna com cabo oblíquo



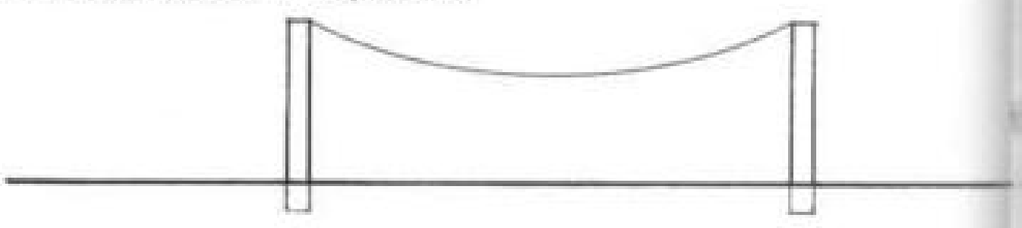
pilar inclinado con cable — coluna oblíqua com cabo

de vector activo / vetor-ativo

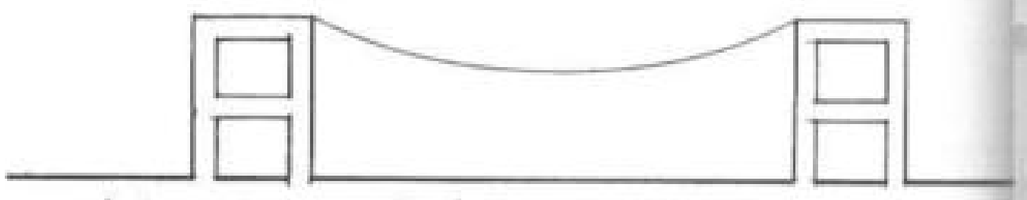


pilar de celosía — pilotis entreliçado

de sección activa / seção-ativa

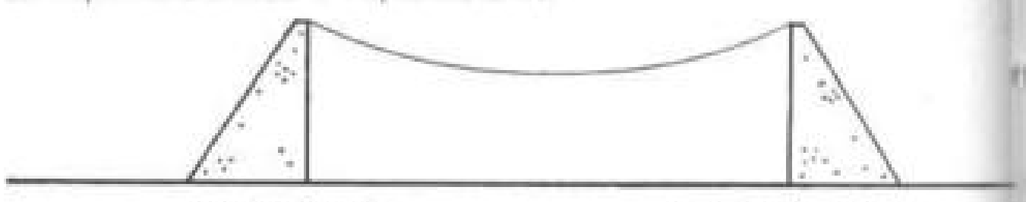


pilar empotrado — coluna com extremo fixo



pórtico resistente a flexión — pórtico rígido

de superficie activa / superfície-ativa



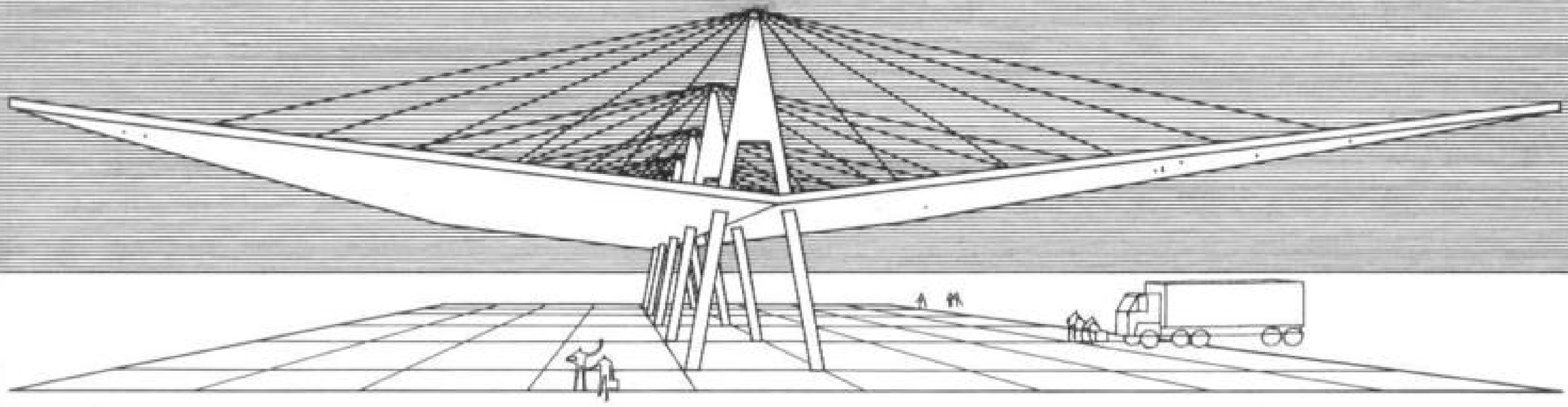
contrafuerte — parede contraforte

# Forma activa 1

## Sistemas de estructuras de

### Sistemas paralelos sencillos estabilizados con el peso de la cubierta

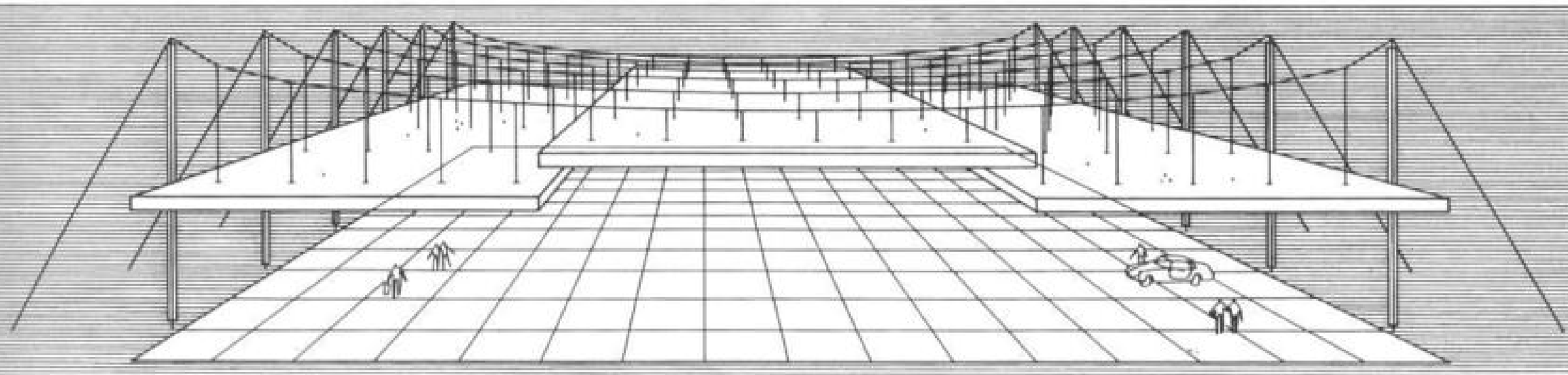
### Sistemas simples paralelos com estabilização por meio do peso da coberta



Suspensión directa desde los pilares centrales

Suspensão direta por pilotis centrais

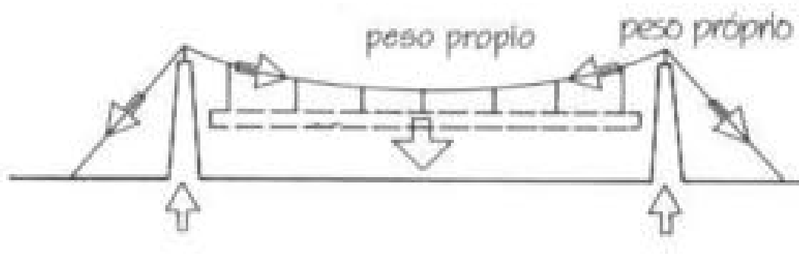
mecanismo portante y de estabilización
mecanismo de suspensão e estabilização

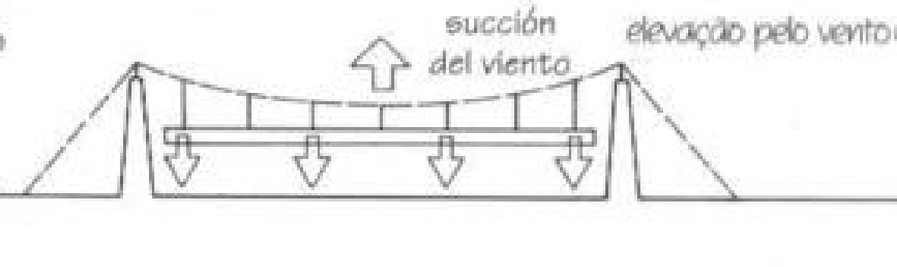


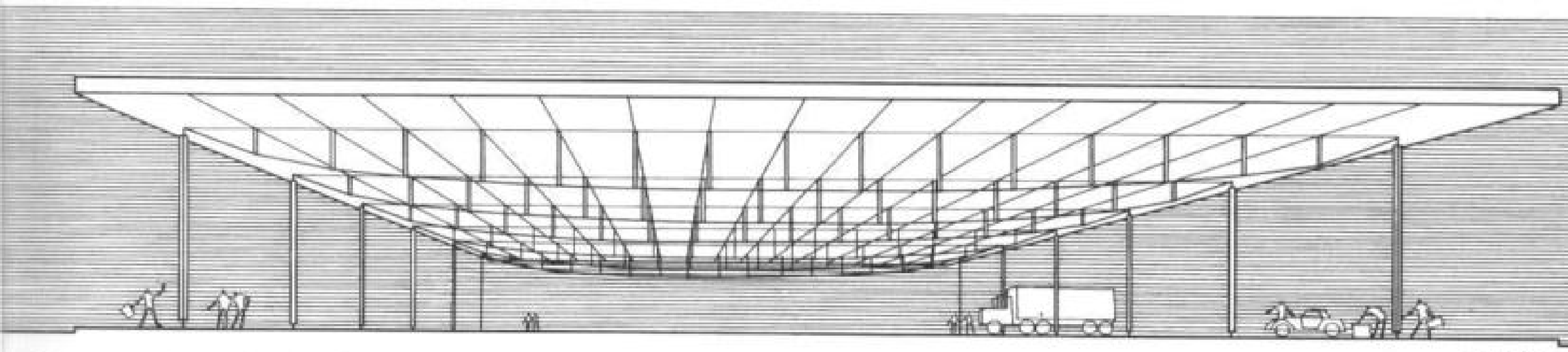
Cubierta suspendida del cable

Teto suspenso por cabos

mecanismo portante y de estabilización
mecanismo de suspensão e estabilização



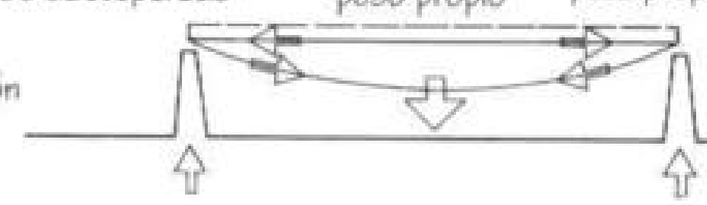



Cubierta apoyada en el cable suspendido

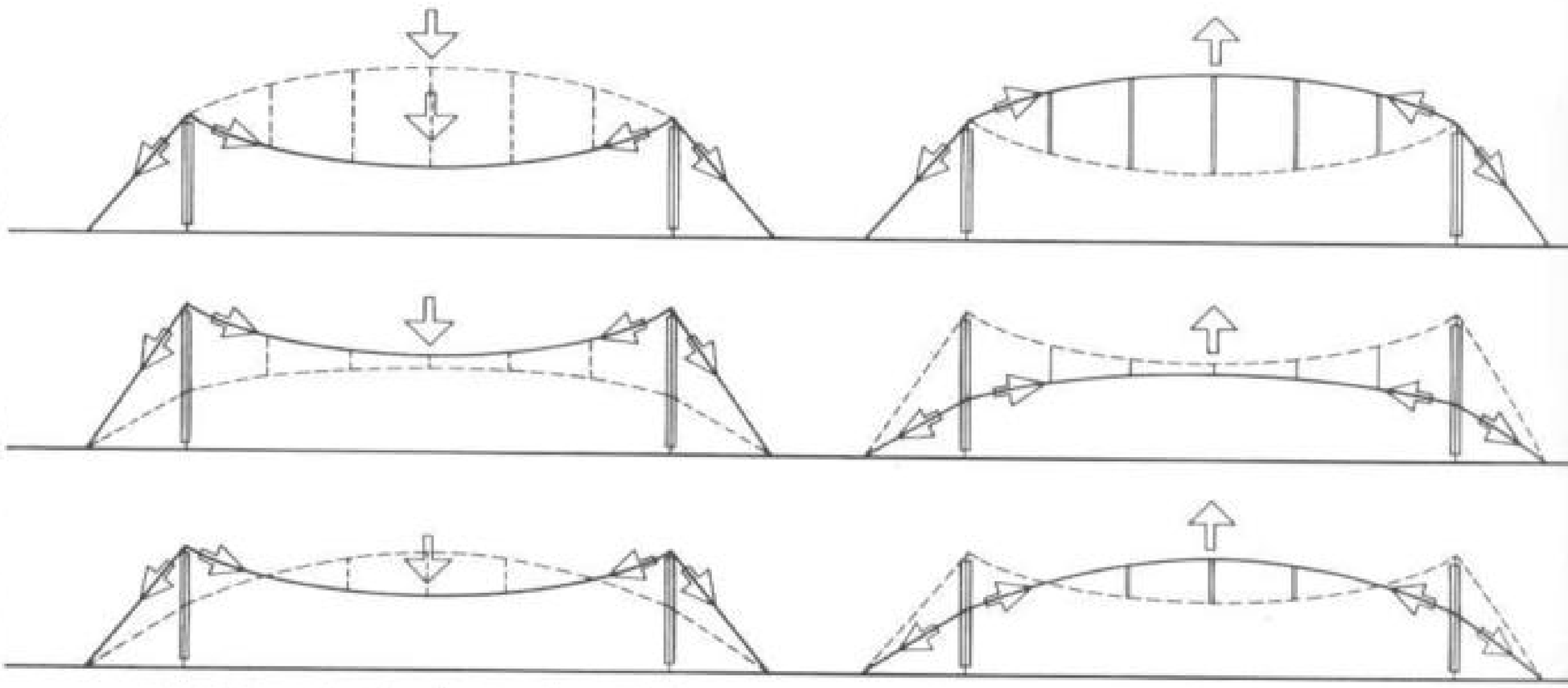
Teto apoiado sobre cabo de suspensão

mecanismo portante y de estabilización
mecanismo de suspensão e estabilização



Mecanismo portante y de estabilización de los sistemas pretensados

Mecanismo portante e estabilizador de sistemas protendidos



Cable portante bajo el cable de estabilización
Cabo de suspensão abaixo do cabo de estabilização

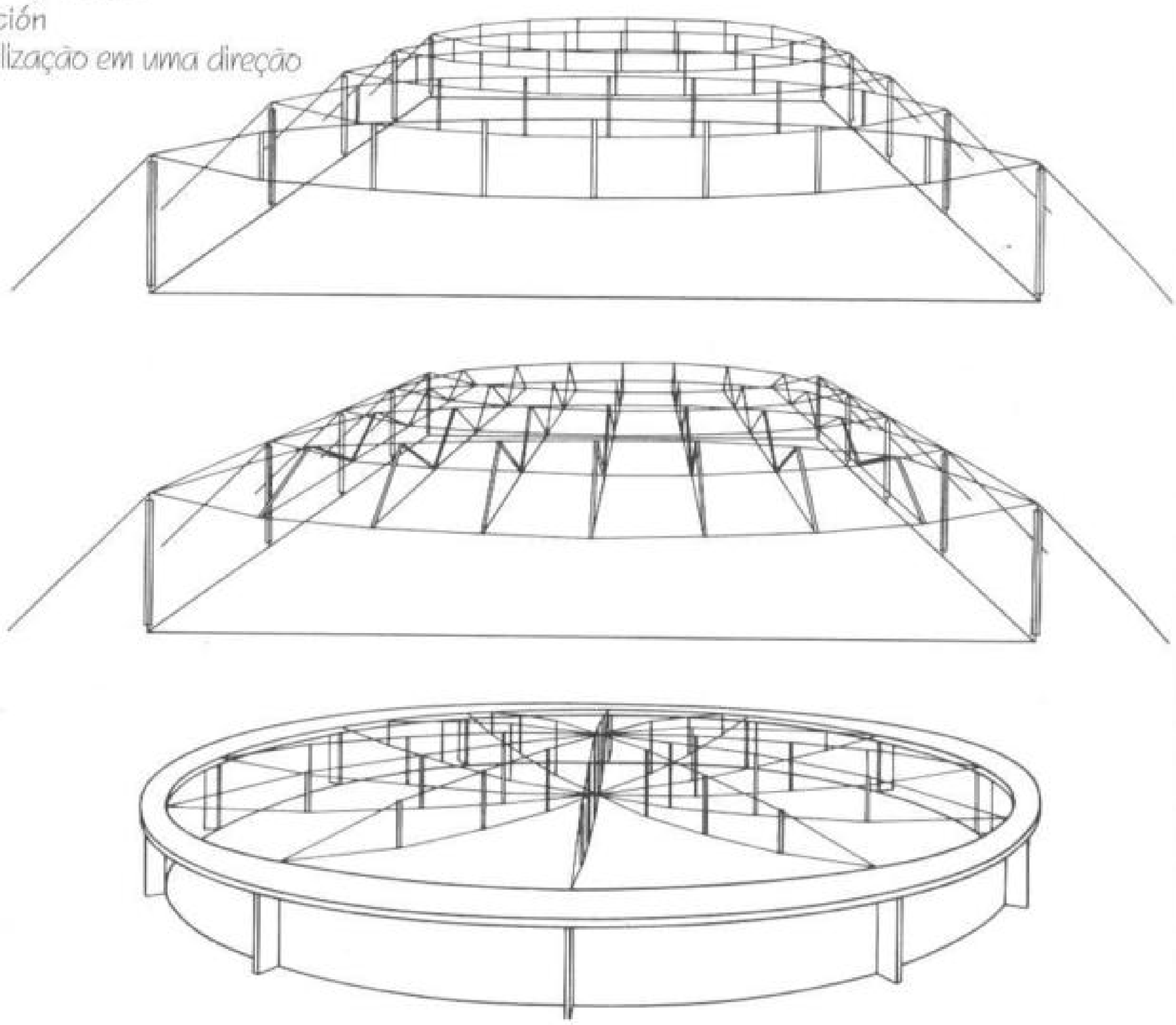
Cable portante sobre el cable de estabilización
Cabo de suspensão acima do cabo de estabilização

Cable portante en parte sobre, y en parte bajo, del cable de estabilización
Cabo de suspensão parcialmente acima e parcialmente abaixo do cabo de estabilização

mecanismo portante / mecanismo portante

mecanismo de estabilización / mecanismo estabilizador

Sistemas con cables portantes y cables de estabilización en una dirección
Sistemas com suspensão e estabilização em uma direção



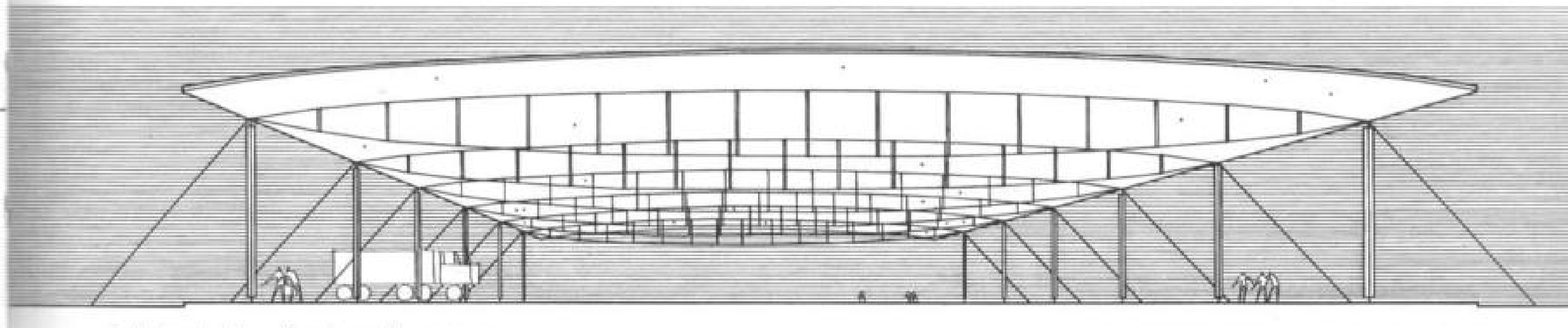
Sistema paralelo bidimensional
Sistema paralelo plano

Sistema paralelo tridimensional
Sistema paralelo espacial

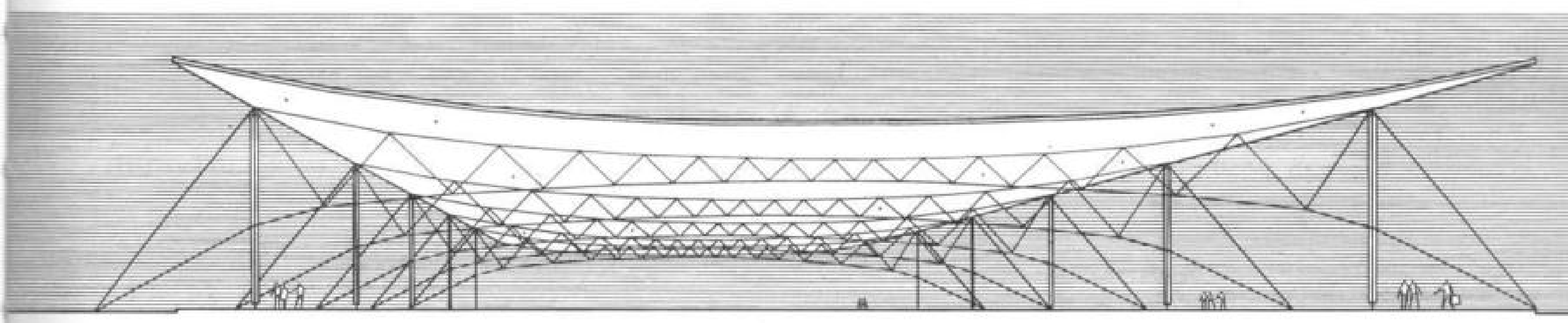
Sistema de revolución plano
Sistema rotativo plano

## Sistemas paralelos planos con estabilización mediante cables de curvatura opuesta

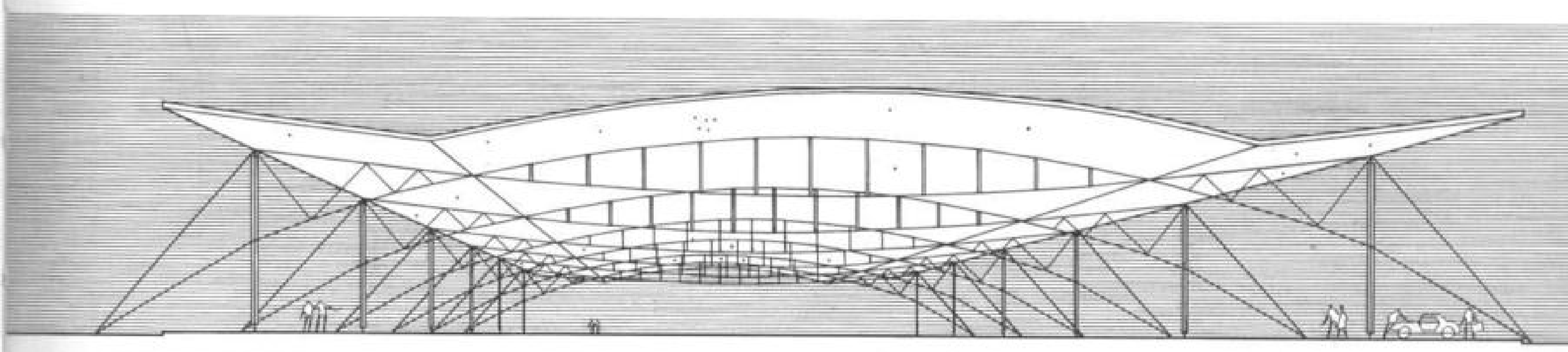
*Cable de suspensión y cable de estabilización en un plano*



*Cable de estabilización sobre cable portante*



*Cable de estabilización bajo cable portante*



*Cable de estabilización en parte sobre, y en parte bajo, del cable portante*

## Sistemas paralelos planos com estabilização por meio de contracabos

*Cabo de suspensão e estabilização em um plano*

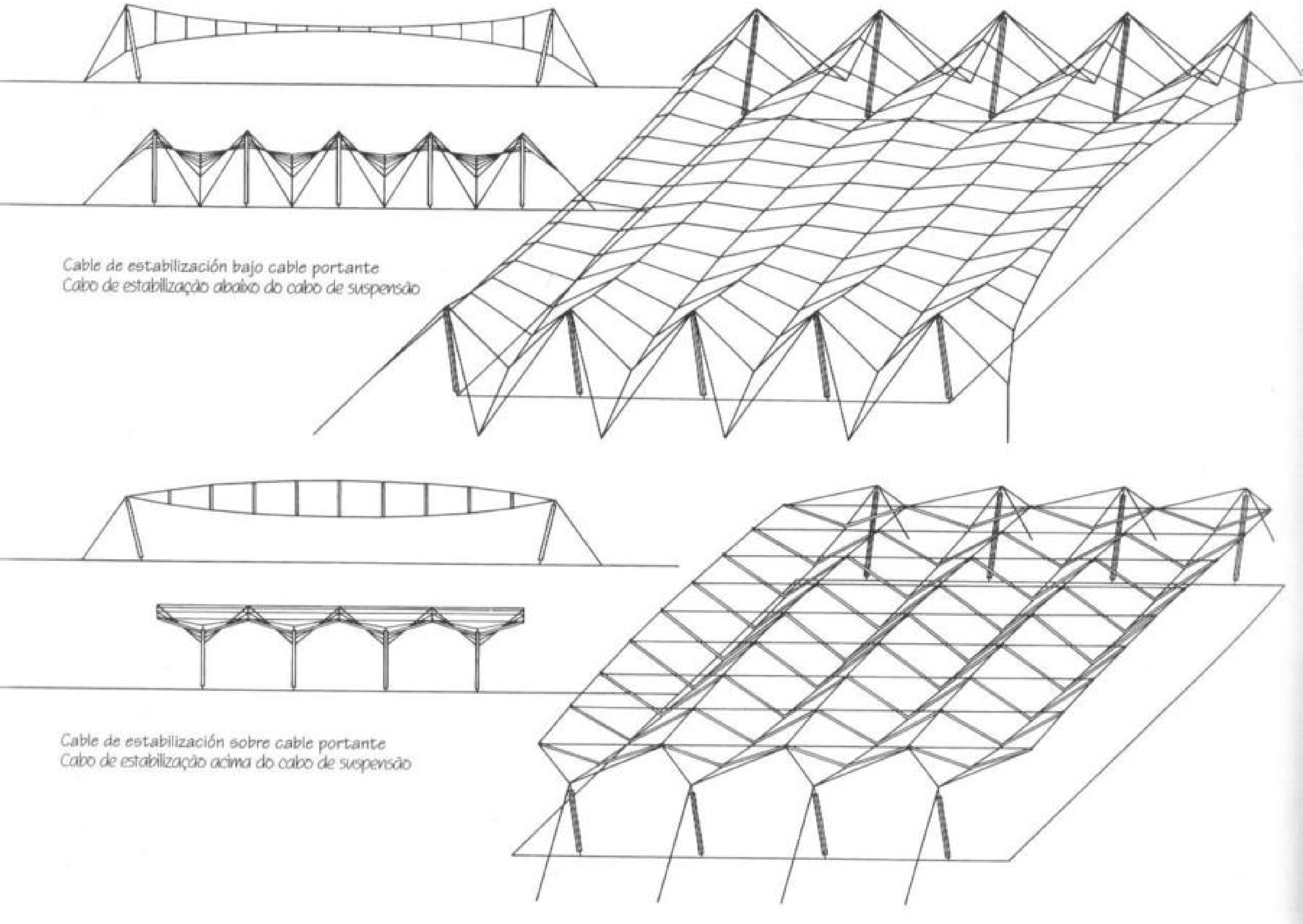
*Cabo de estabilização acima do cabo de suspensão*

*Cabo de estabilização abaixo do cabo de suspensão*

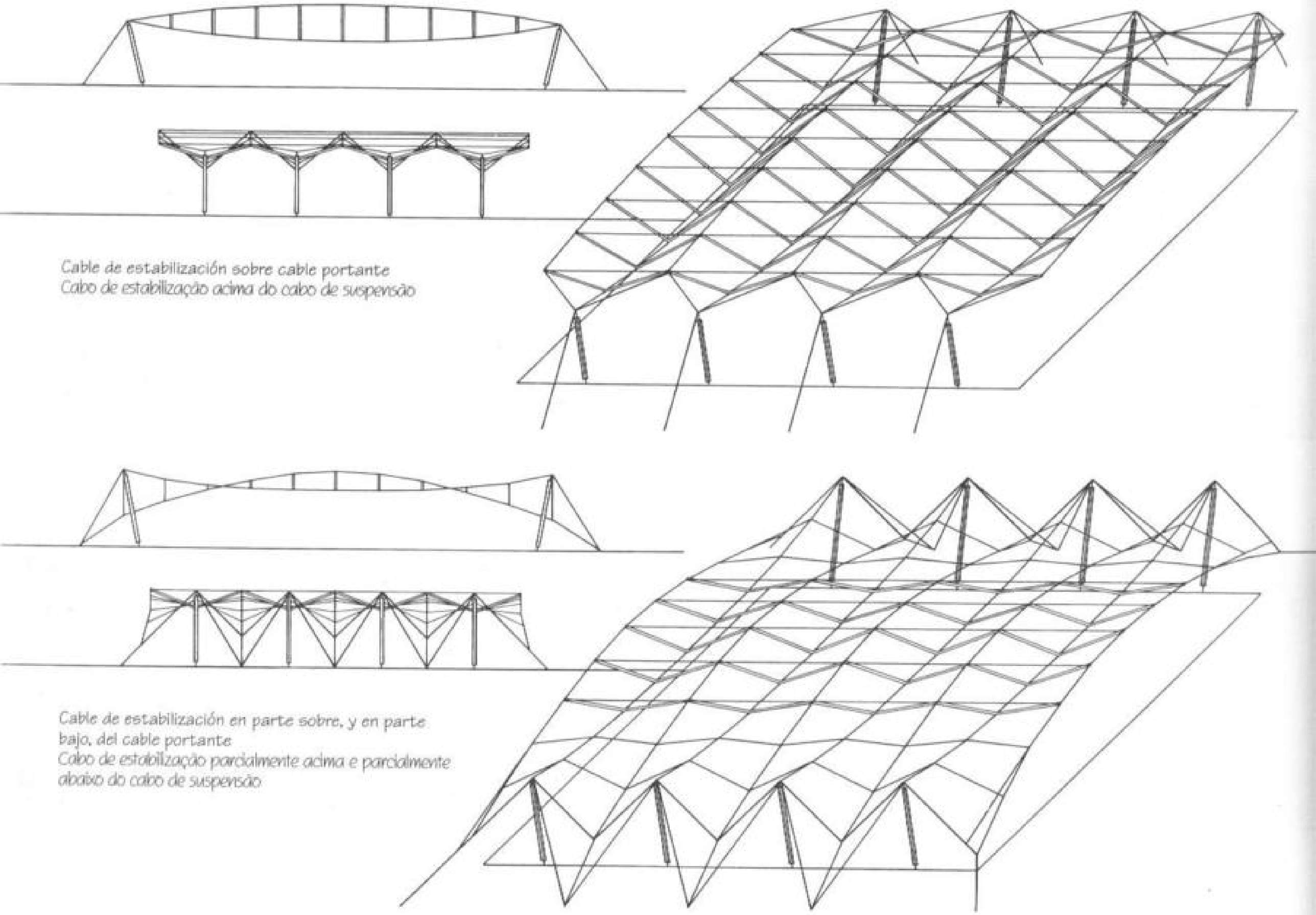
*Cabo de estabilização parcialmente acima e parcialmente abaixo do cabo de suspensão*

## Sistemas paralelos espaciales estabilizados mediante cables de curvatura opuesta

*Cable portante y cable de estabilización en diferentes planos*



*Cable de estabilización bajo cable portante*
*Cabo de estabilização abaixo do cabo de suspensão*



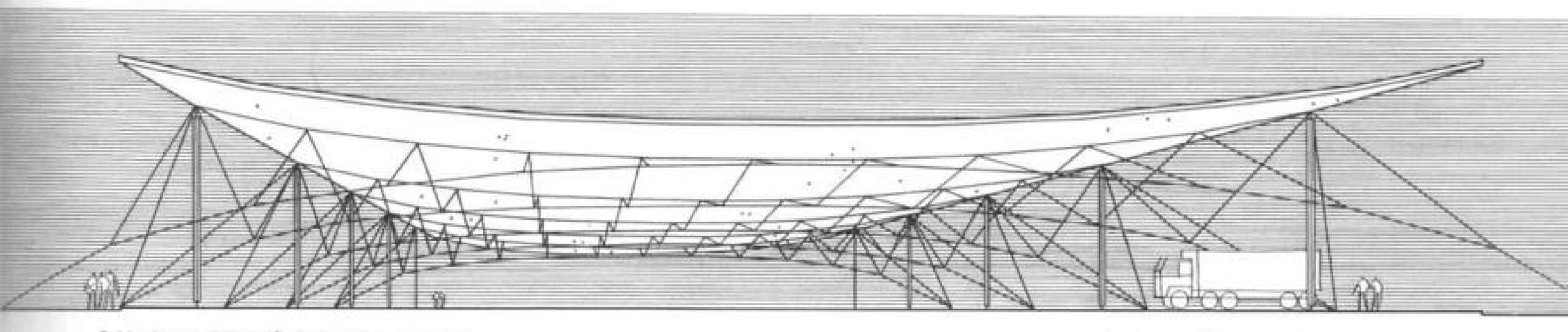
*Cable de estabilización sobre cable portante*
*Cabo de estabilização acima do cabo de suspensão*



*Cable de estabilización en parte sobre, y en parte bajo, del cable portante*
*Cabo de estabilização parcialmente acima e parcialmente abaixo do cabo de suspensão*

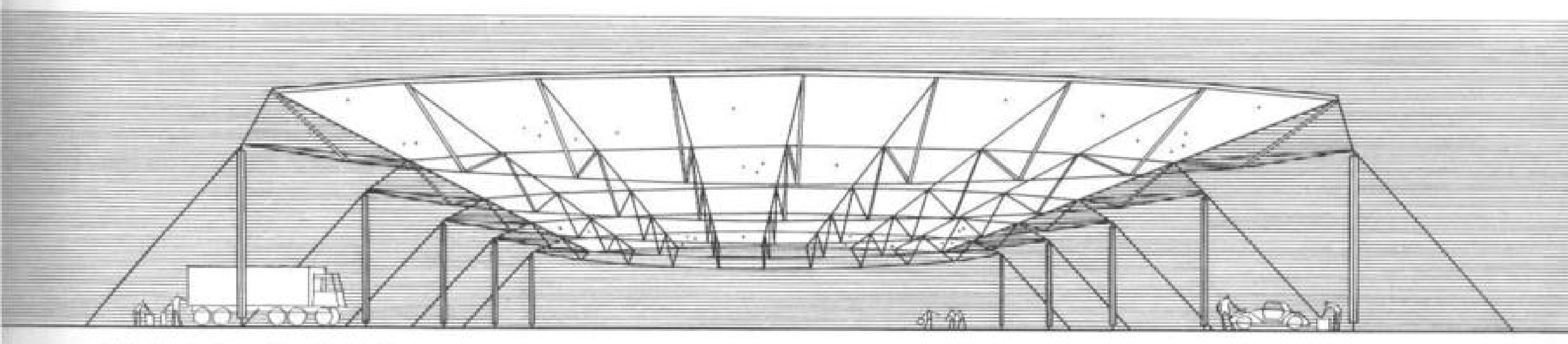
## Sistemas paralelos espaciais com estabilização através de contracabos

*Cabo de suspensão e de estabilização em planos diferentes*



Cable de estabilización bajo cable portante

Cabo de estabilização abaixo do cabo de suspensão

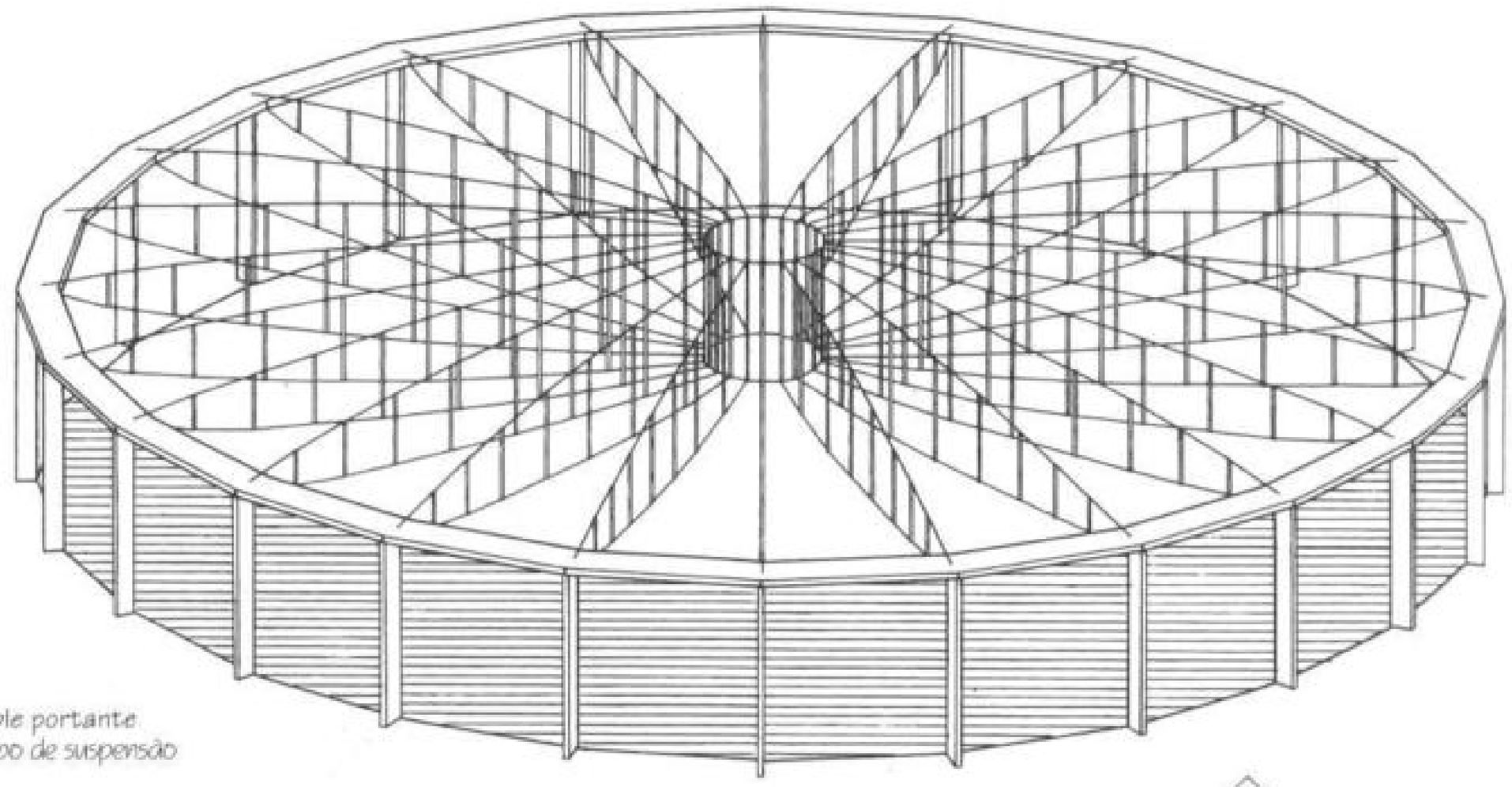


Cable de estabilización sobre cable portante

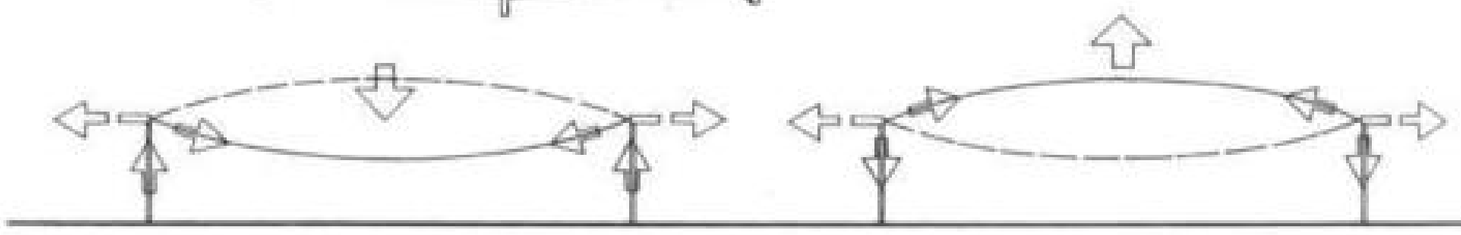
Cabo de estabilização acima do cabo de suspensão

## Sistemas de revolución planos con estabilización mediante cables de curvatura opuesta

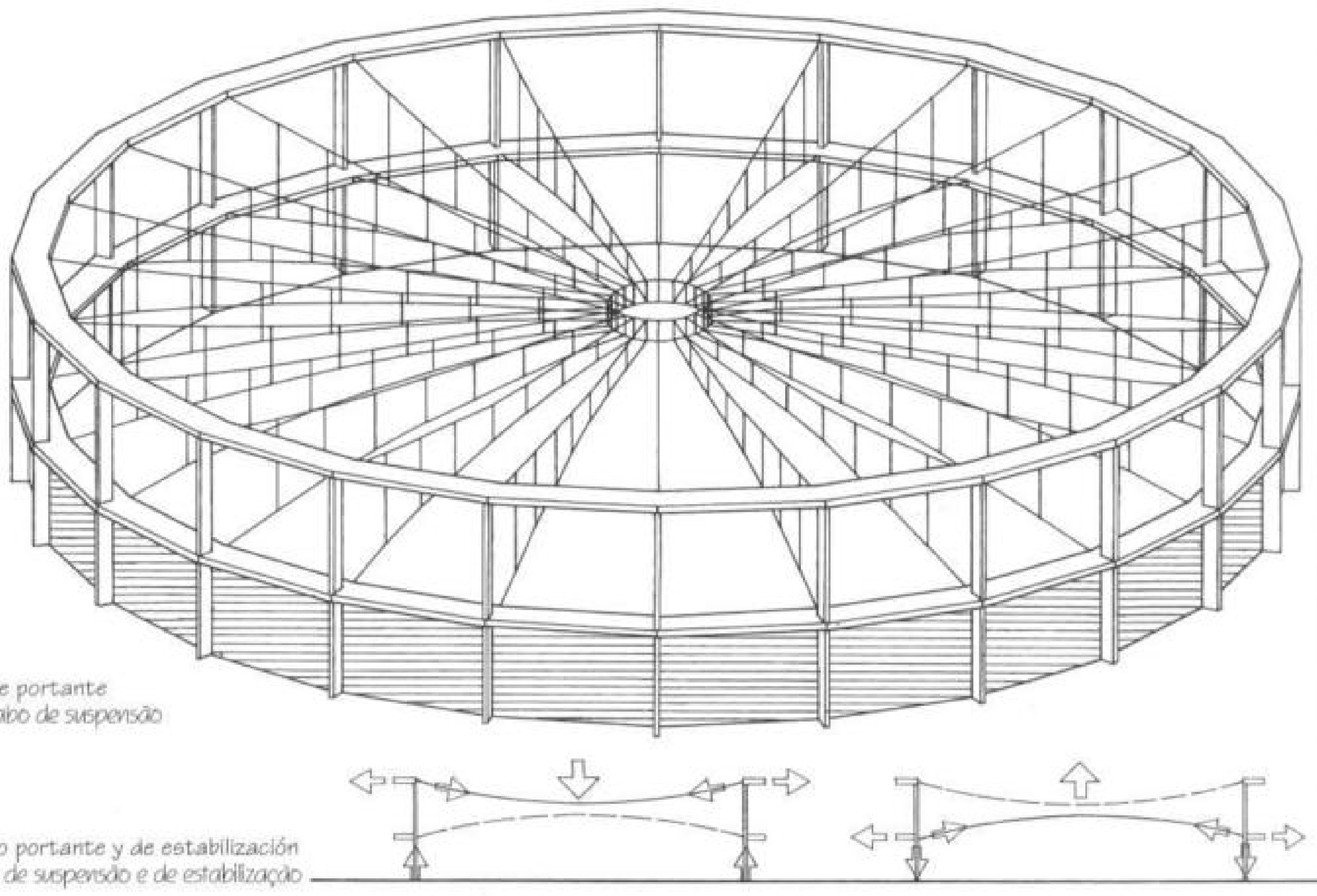
## Sistemas planos de rotação com estabilização através de contracabos



Cable de estabilización sobre cable portante
Cabo de estabilização acima do cabo de suspensão



Mecanismo portante y de estabilización
Mecanismo de suspensão e de estabilização



Cable de estabilización bajo cable portante
Cabo de estabilização abaixo do cabo de suspensão



Mecanismo portante y de estabilización
Mecanismo de suspensão e de estabilização

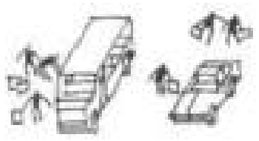
## Sistemas de revolución con diferentes técnicas de arriostramiento

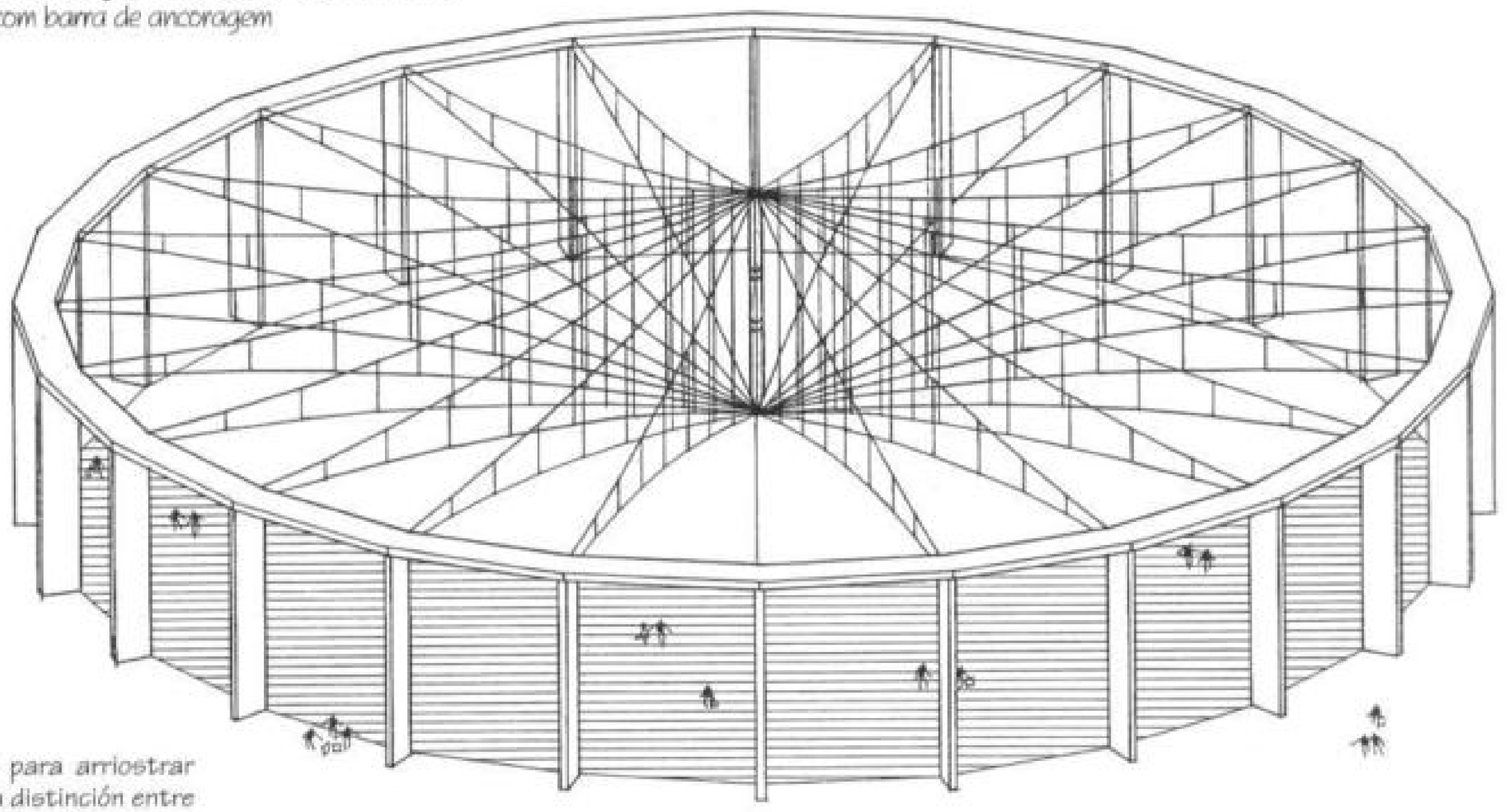
Estabilización combinada mediante puntal y tirantes

## Sistemas rotativos com técnicas alternadas de estabilização

Combinação de barra de distribuição e barra de ancoragem

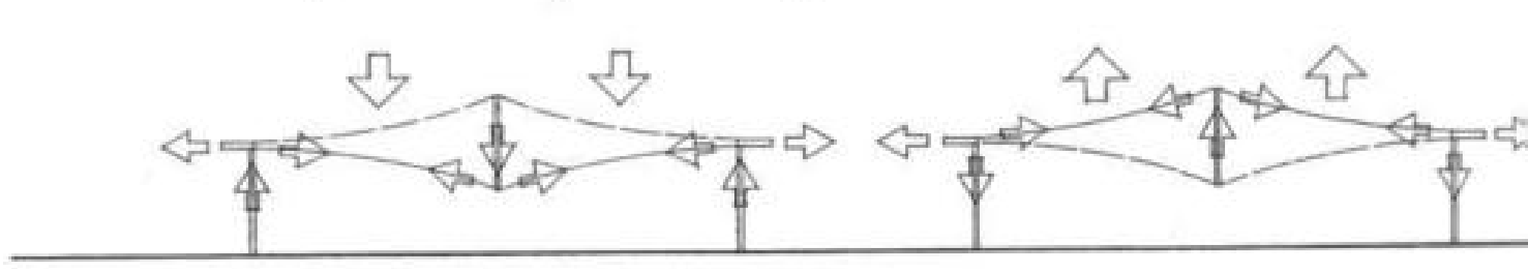
Estabilización mediante un puntal central y tirantes de arriostramiento
Estabilização de distribuidor central com barra de ancoragem

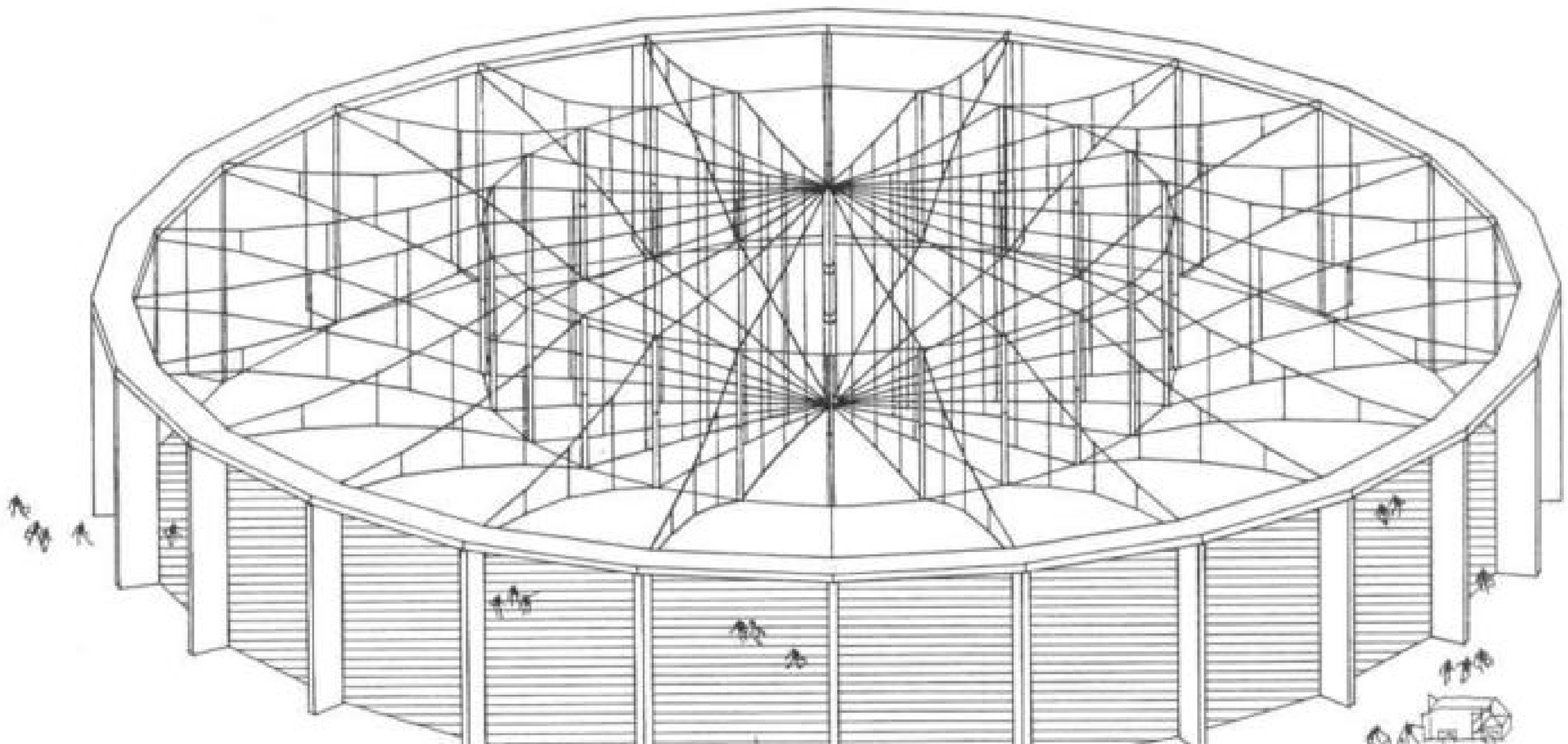




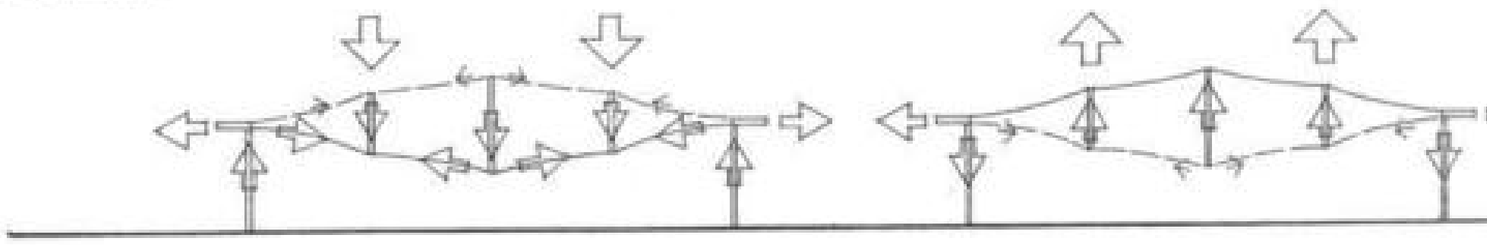
Combinando tirantes y puntales para arriostrar los dos cables se difumina la clara distinción entre cable portante y cable de estabilización. Ambos cables asumirán una función resistente, cualquiera que sea el estado de cargas

Combinando os tirantes de ancoragem com as barras de distribuição, dissolve-se a clara diferença entre cabos de suspensão e de estabilização. Ambos os cabos funcionais serão ativos ao resistir a distintas condições de carga



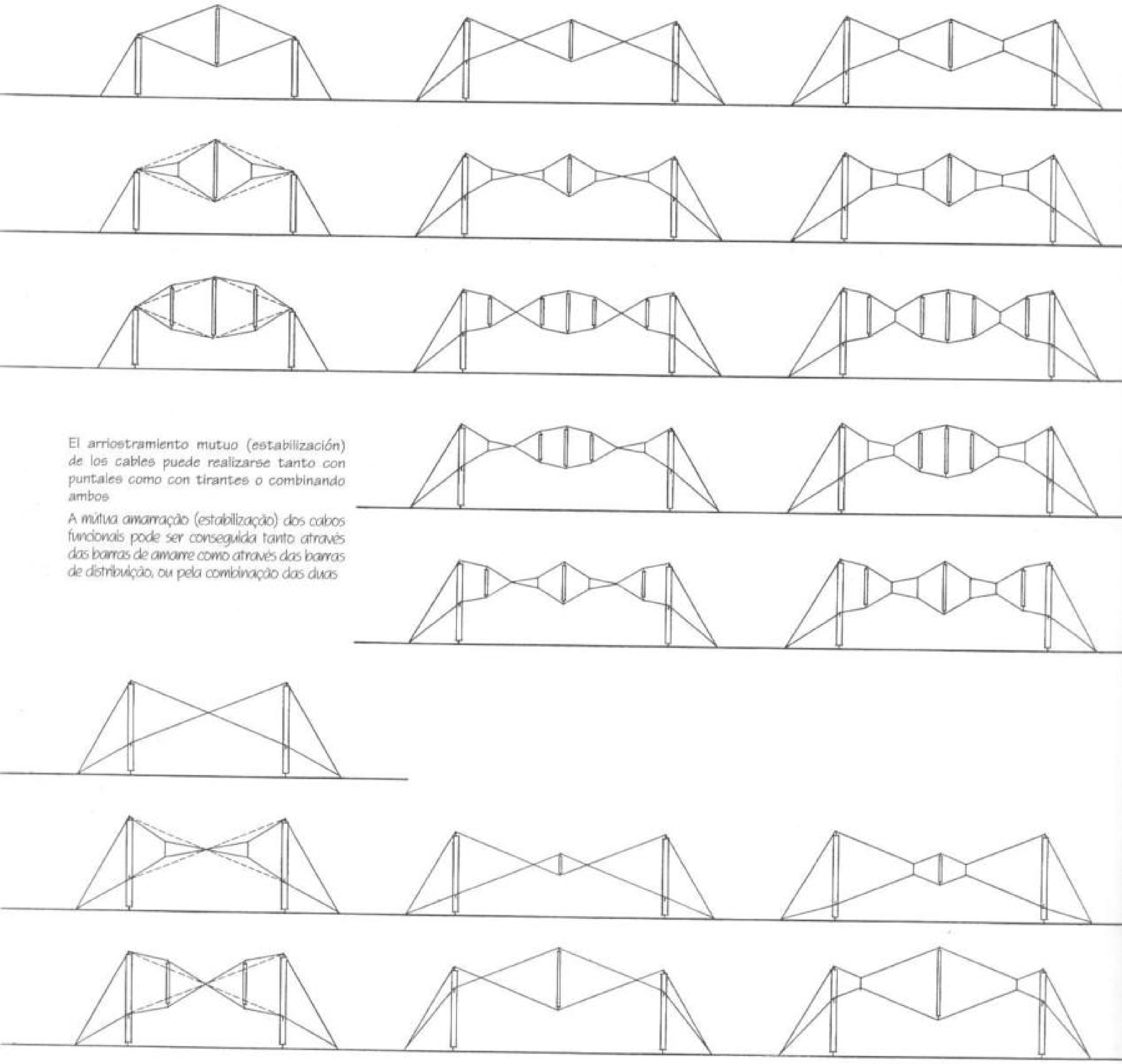


Triple estabilización mediante puntales con arriostramiento de tirantes
Estabilização de distribuidor triplo com tirantes de ancoragem



## Sistemas de arriostramiento para estabilizar los cables
## Combinaciones de puntales y tirantes

## Sistemas de sujeição para estabilização de cabos funcionais
## Combinações de tirantes de ancoragem e barra de distribuição



El arriostramiento mutuo (estabilización) de los cables puede realizarse tanto con puntales como con tirantes o combinando ambos

A mútua amarração (estabilização) dos cabos funcionais pode ser conseguida tanto através das barras de amarre como através das barras de distribuição, ou pela combinação das duas



Utilizando conjuntamente tirantes y puntales para arriostrar los cables se difumina la clara distinción entre cable portante y cable de estabilización. Ambos cables asumen una función resistente cualquiera que sea el estado de cargas

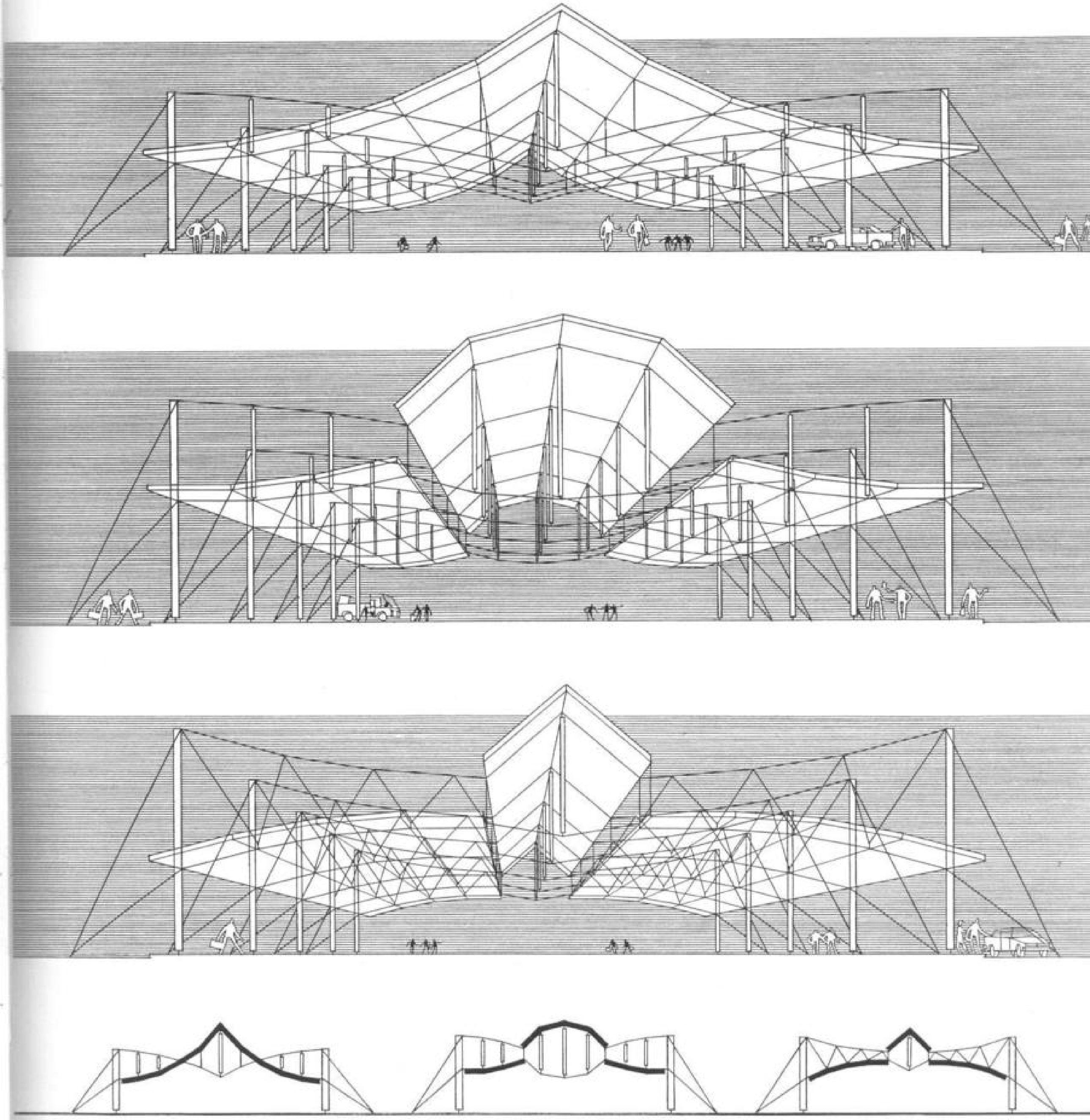
Através da aplicação mútua das barras de amarre e das barras de distribuição para a estabilização dos cabos funcionais desaparece a distinção de separação do cabo de suspensão e do cabo de estabilização. Ambos os cabos funcionais são tensionados com qualquer condição de carga

## Sistemas paralelos con diferentes técnicas de arriostramiento

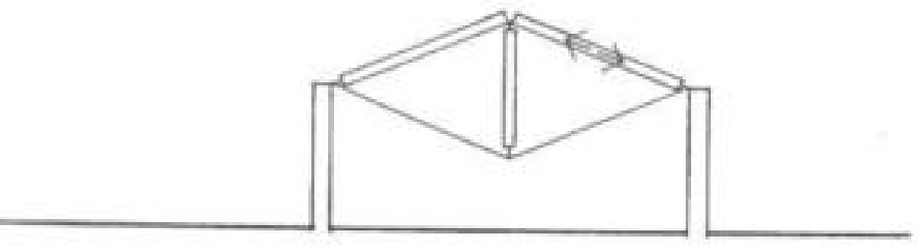
Estabilización combinada mediante puntal y tirantes

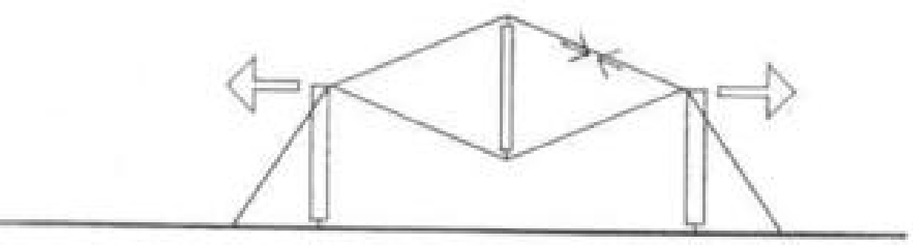
## Sistemas paralelos com técnicas alternativas de estabilização

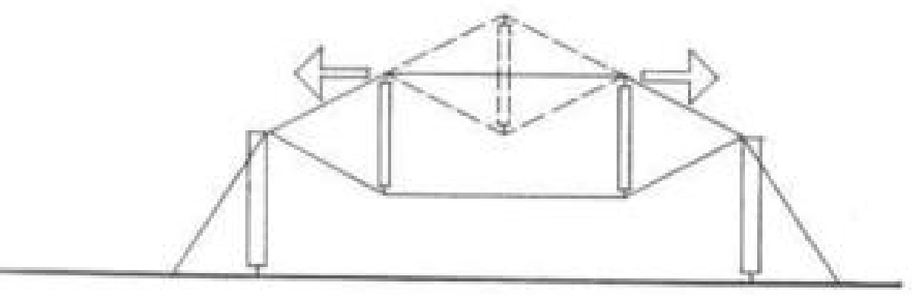
*Combinação de barra de distribuição com tirante de ancoragem*

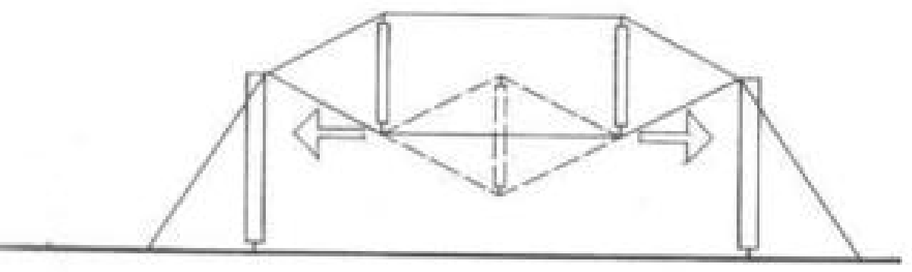


## Desarrollo de las celosías de cables a partir de las celosías romboidales

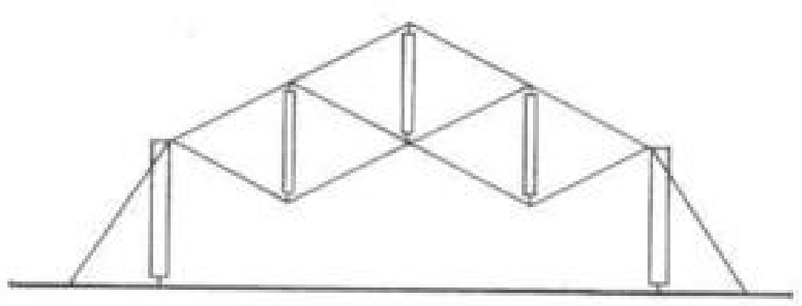


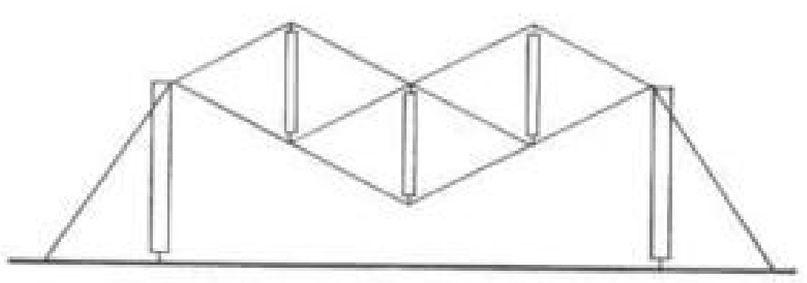






Formas típicas





## Derivação de treliças em losango em cabo de treliça

Aplicando fuerzas horizontales opuestas (por ejemplo, mediante cables de arriostramiento) los cordones superiores, en vez de estar sometidos a compresiones, están traccionados. Por lo tanto, pueden realizarse con cables: CELOSÍAS DE CABLES.

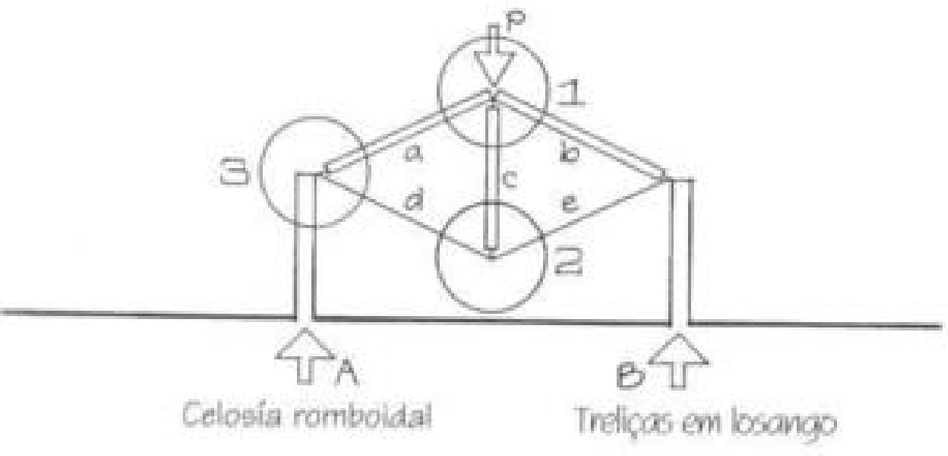
La estructura portante descansa en la combinación entre la absorción de las diferentes cargas puntuales que se transmiten escalonadamente a los puntos de apoyo. Los cordones superiores no participan en este proceso, sólo sirven para arriostrar y atirantar.

Aplicando-se duas forças horizontais opostas (assim como cabos de retensão) as cordas da parte de cima não estão mais sujeitas aos esforços de compressão, mas sim de tensão. Portanto elas podem ser consideradas cabos: CABOS DE TRELIÇA.

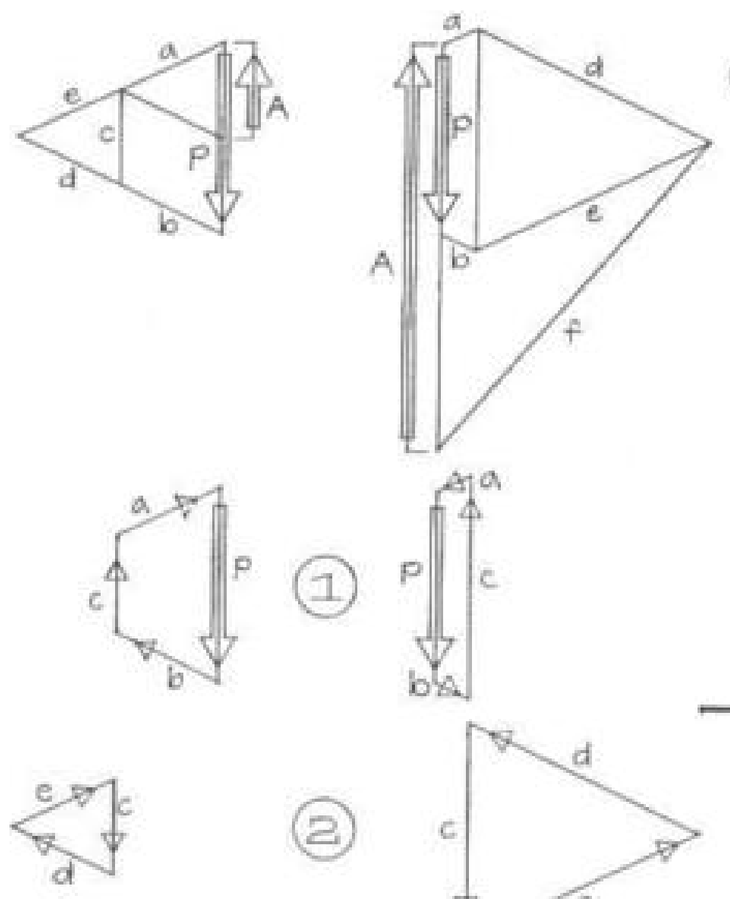
O sistema de estrutura apoia-se na interligação da suspensão de carga individual que, passo a passo, transmite as cargas aos suportes finais. As cordas de topo não participam desta ação, servindo somente para tensionar e estabilizar a estrutura.

## Comparación entre los diagramas de tensiones

de las celosías romboidales y las celosías de cables

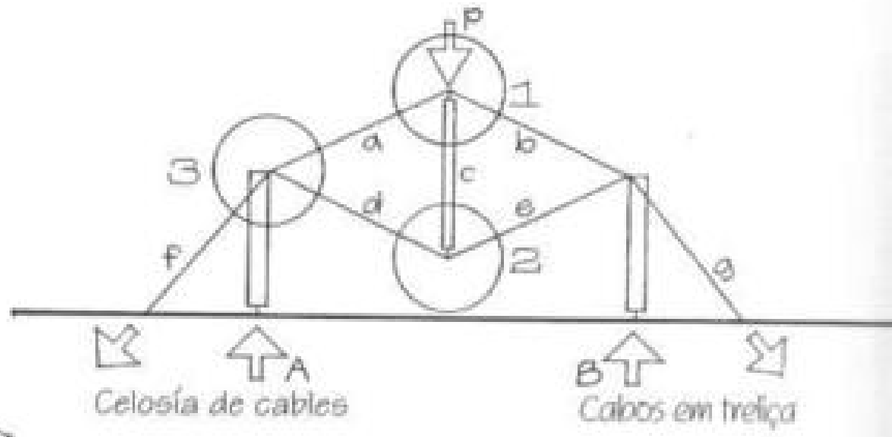



Celosía romboidal




## Comparação de distribuição de esforços

de treliça em losango e cabo entreliçado




Celosía de cables

Cabos em treliça

Si el ángulo de inclinación de los cordones superiores a / b y los cordones inferiores c / d es el mismo, la carga p es absorbida al 50% por cada uno de los cordones. Pero, incluso, si la inclinación es diferente, los esfuerzos en los nudos siguen siendo relativamente reducidos.

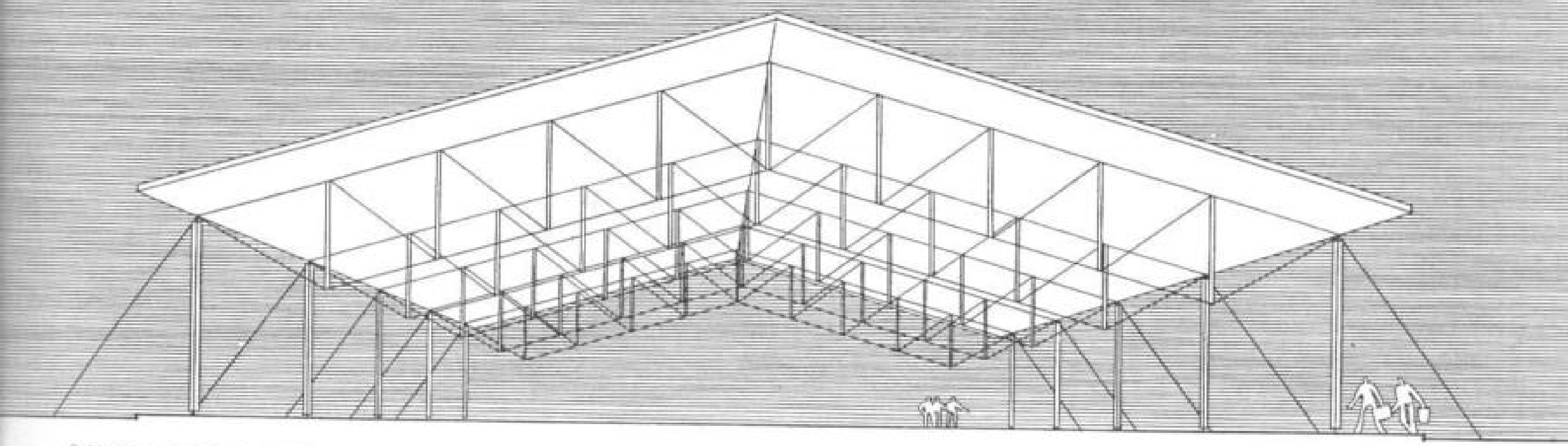
Com a mesma inclinação das cordas de topo a' b e as cordas superiores c' d, a carga P será recebida equilibradamente pelas cordas. Mas com diferentes inclinações das cordas, as tensões nos nós da treliça serão relativamente menores.

En el caso de las celosías de cables y para una misma carga p, se originan unas tensiones mucho más elevadas en los nudos que en el caso de las celosías romboidales, incluso si los cordones superiores a / b (cables de estabilización) están sometidos a una tracción reducida.

Mesmo com somente uma leve tensão nas cordas superiores a' b (cabos de estabilização) baixo a mesma carga de topo P, os nós do cabo entreliçado estarão sujeitos a uma tensão essencialmente mais alta que a dos nós de treliças em losango.

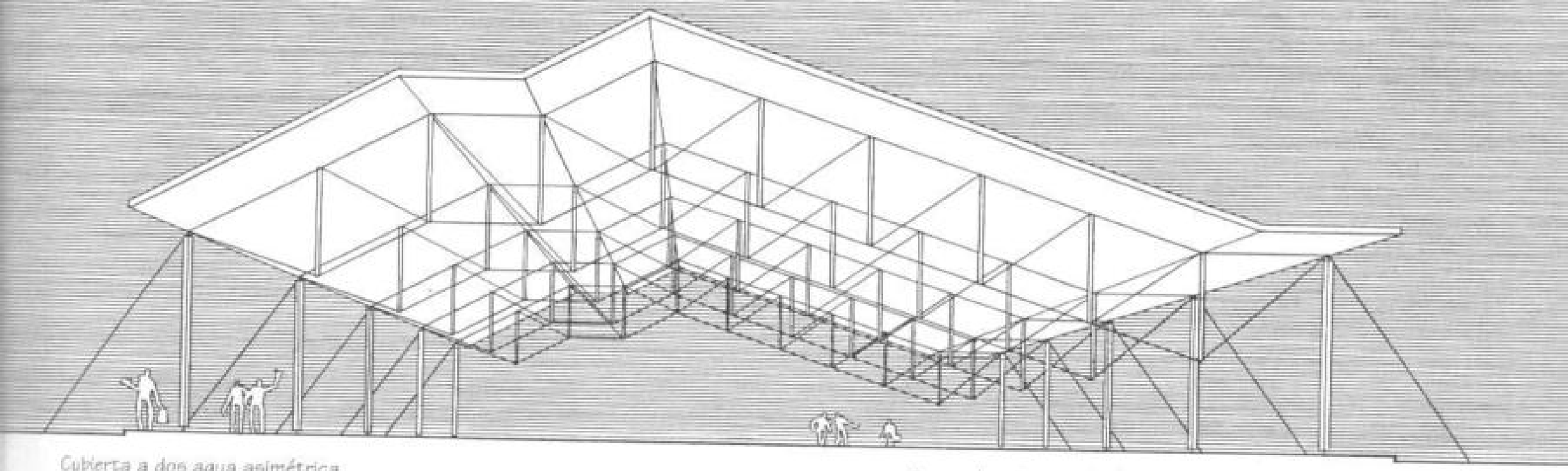
Sistemas de celosías planas de cables en paralelo

Sistemas de cabo em treliça plana com vão paralelo



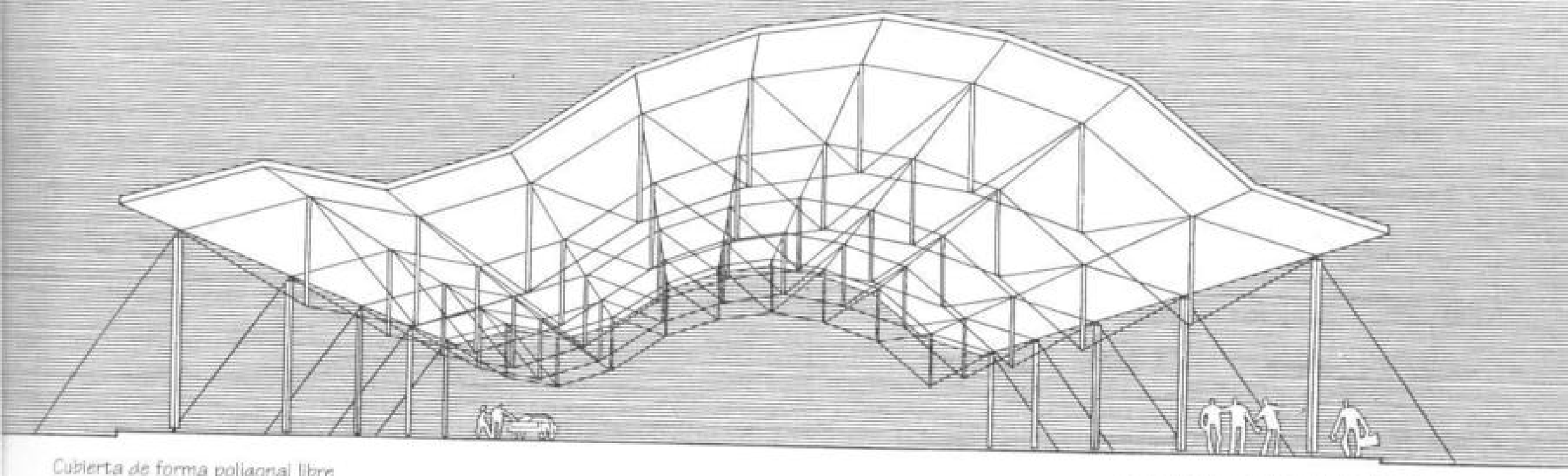
Cubierta a dos aguas continua

Cobertura de duas águas em forma de linha reta



Cubierta a dos agua asimétrica

Forma de cobertura de duas águas com ruptura em linha assimetrica

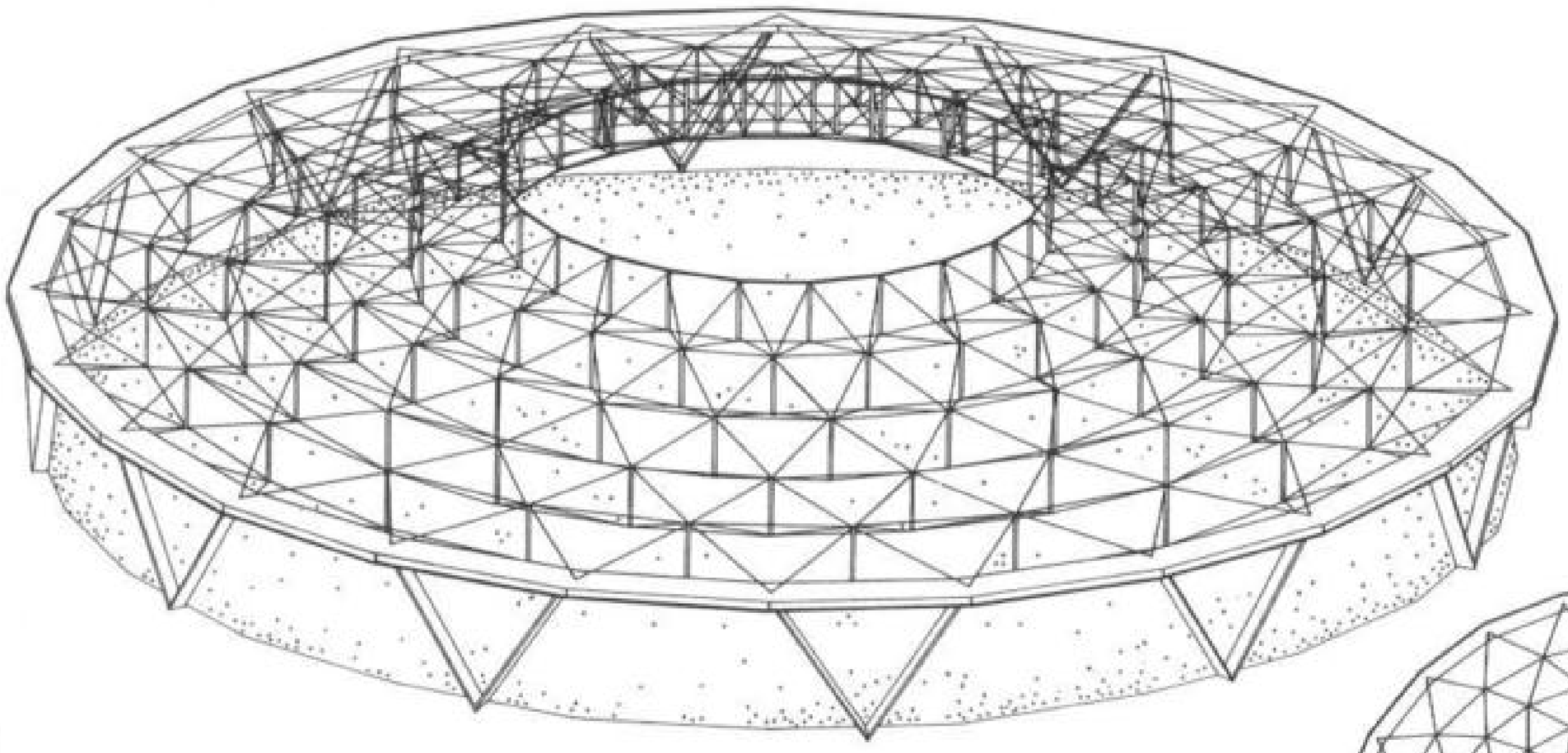


Cubierta de forma poligonal libre

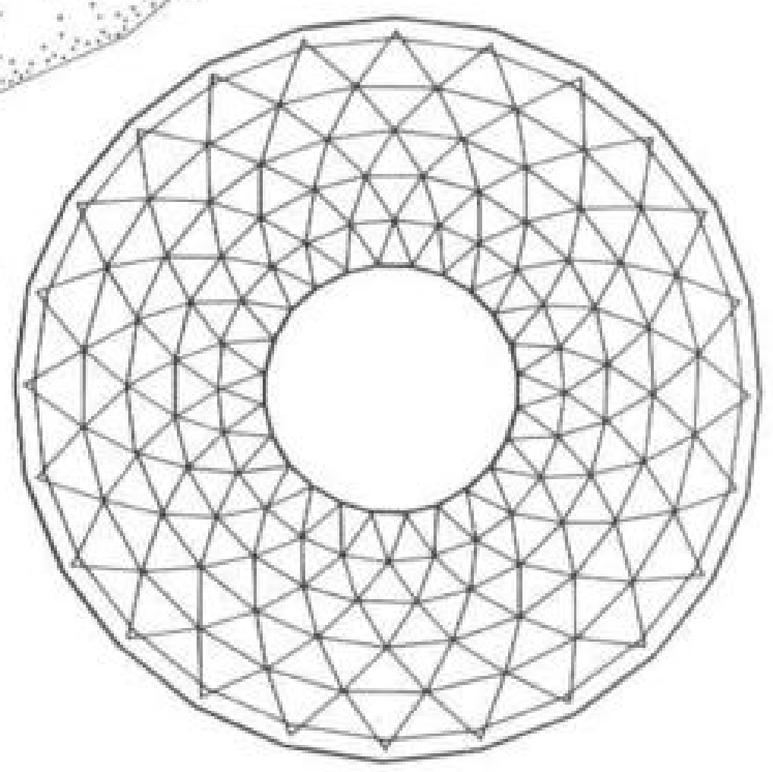
Desenho poligonal em forma livre alargada

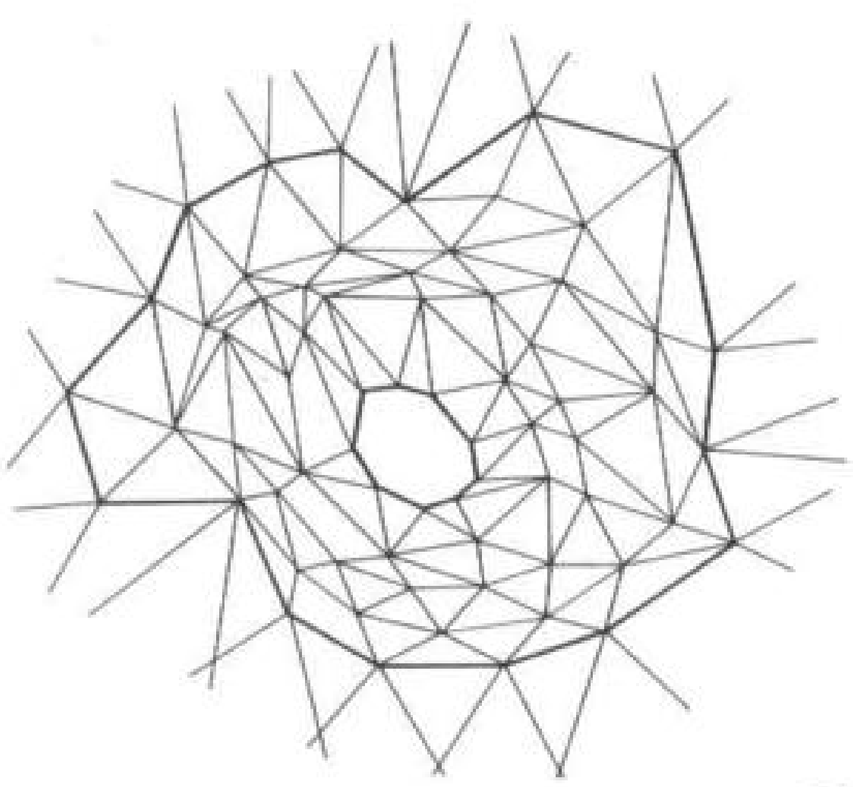
## Sistemas radiales de celosías de cables con una elevación central

## Sistemas de cabos em treliças radiais com elevação em direção ao centro

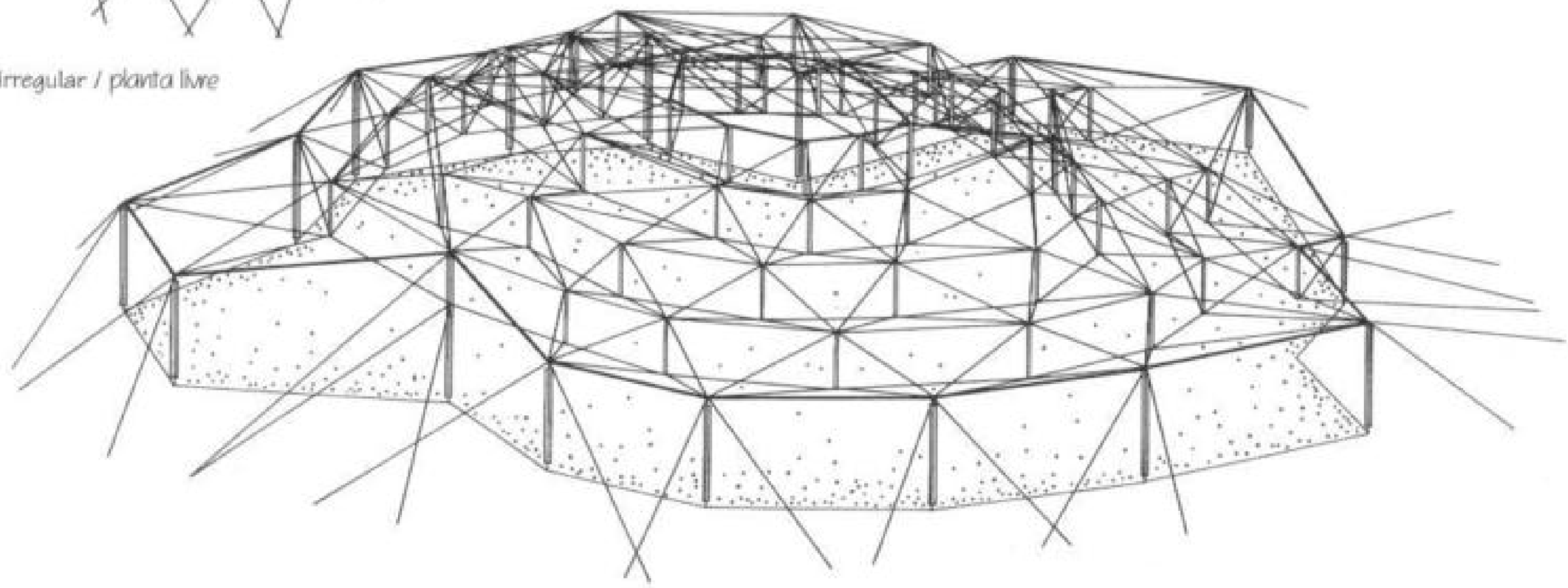


planta de forma circular / *planta circular*





planta irregular / *planta livre*

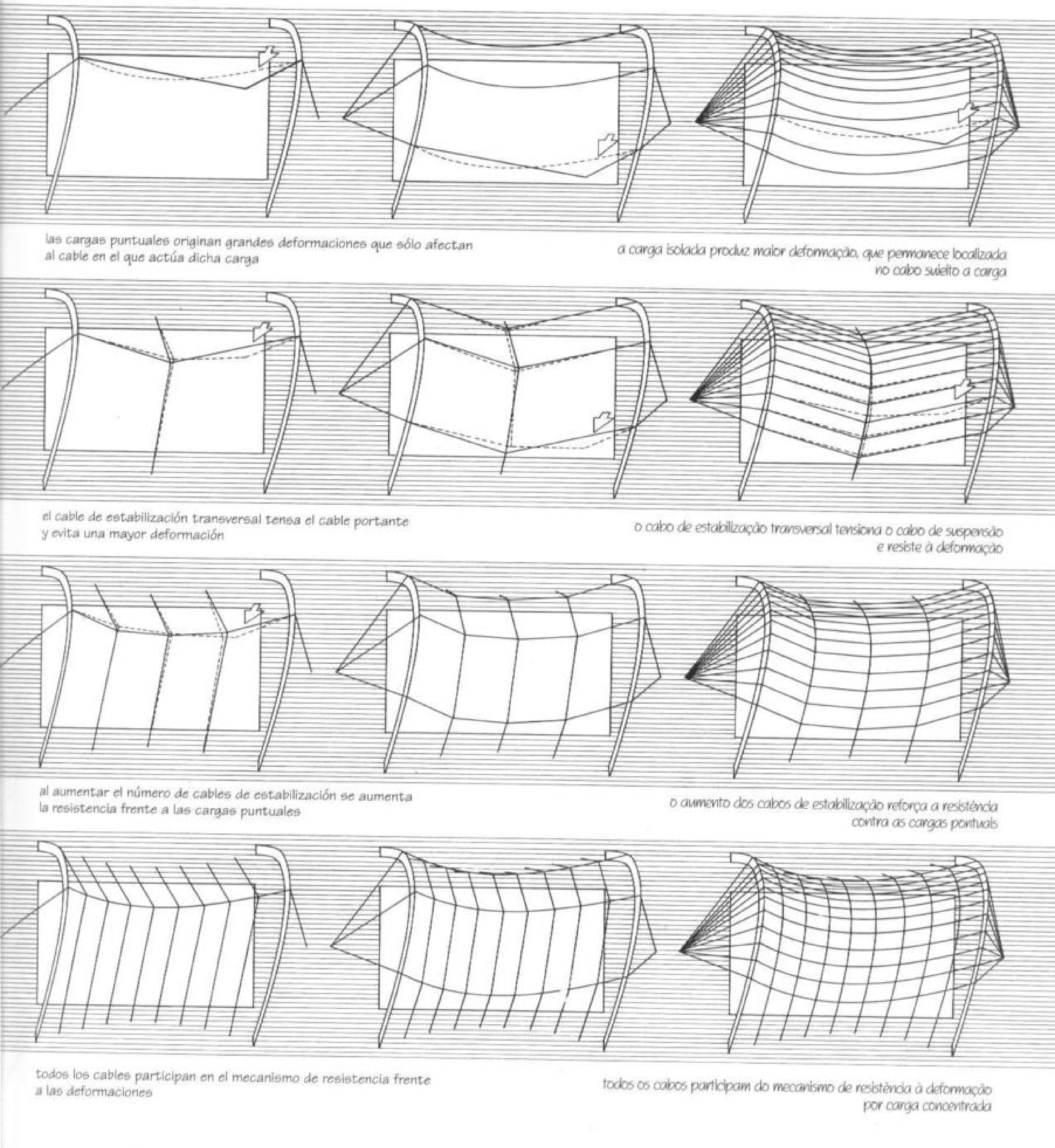


## Sistemas pretensados con cables de estabilización transversales

Evolución desde el cable simplemente suspendido hasta la malla de cables de curvatura en dos sentidos

## Sistemas protendidos com cabos de estabilização transversal

Desenvolvimento de um cabo simples de suspensão até uma rede de cabos com curvatura oposta



las cargas puntuales originan grandes deformaciones que sólo afectan al cable en el que actúa dicha carga

a carga isolada produz maior deformação, que permanece localizada no cabo sujeito a carga

el cable de estabilización transversal tensa el cable portante y evita una mayor deformación

o cabo de estabilização transversal tensiona o cabo de suspensão e resiste à deformação

al aumentar el número de cables de estabilización se aumenta la resistencia frente a las cargas puntuales

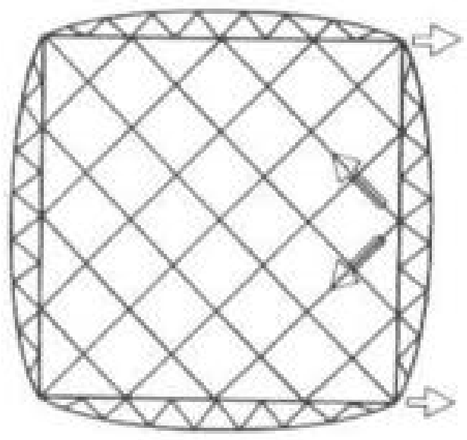
o aumento dos cabos de estabilização reforça a resistência contra as cargas pontuais

todos los cables participan en el mecanismo de resistencia frente a las deformaciones

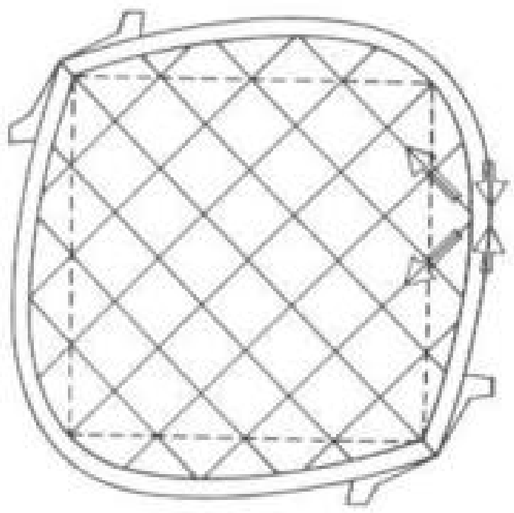
todos os cabos participam do mecanismo de resistência à deformação por carga concentrada

## Diferentes soluciones para resolver el perímetro de mallas de cables con curvatura en dos direcciones

*a partir de una planta de forma cuadrada*



Celosías inclinadas apoyadas sobre pilares
Treliças inclinadas apoiadas em suportes

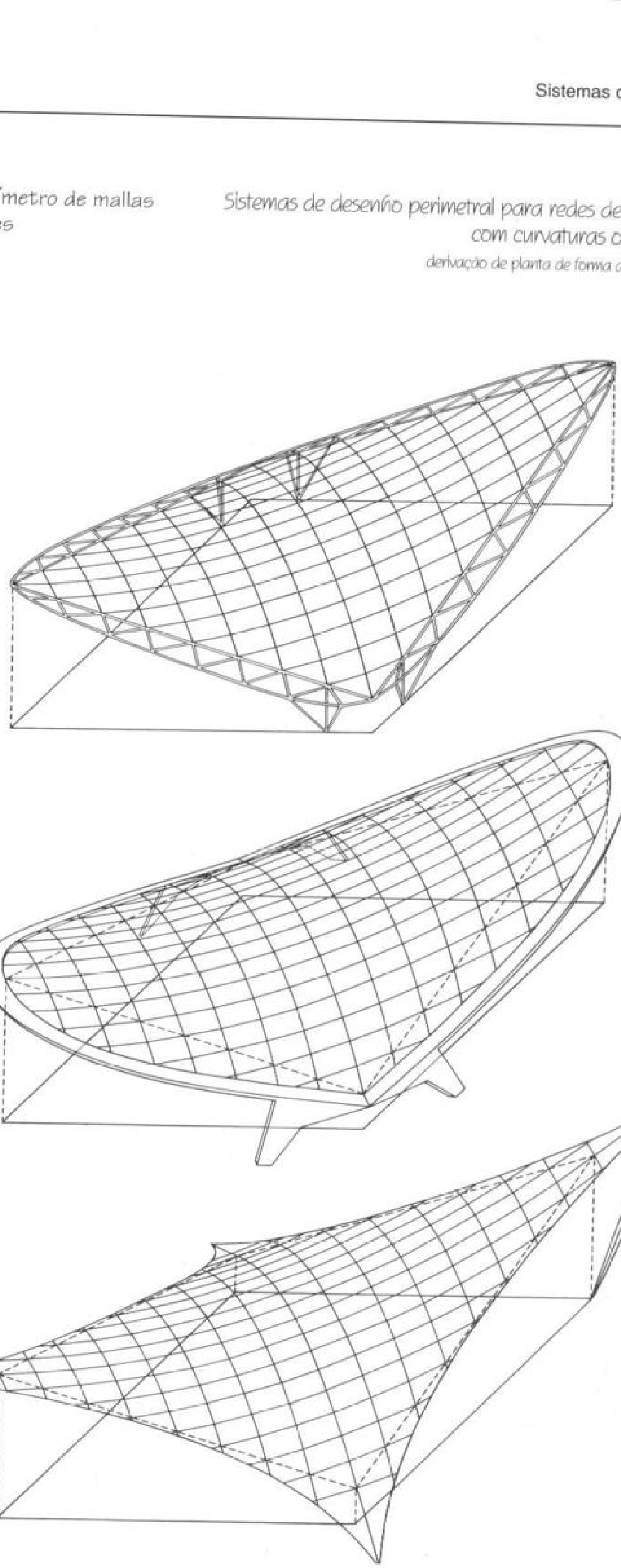


Arcos inclinados apoyados sobre pórticos
Arcos inclinados apoiados em pórticos

Cables perimetrales entre puntales
Cabos de borda entre pilotis

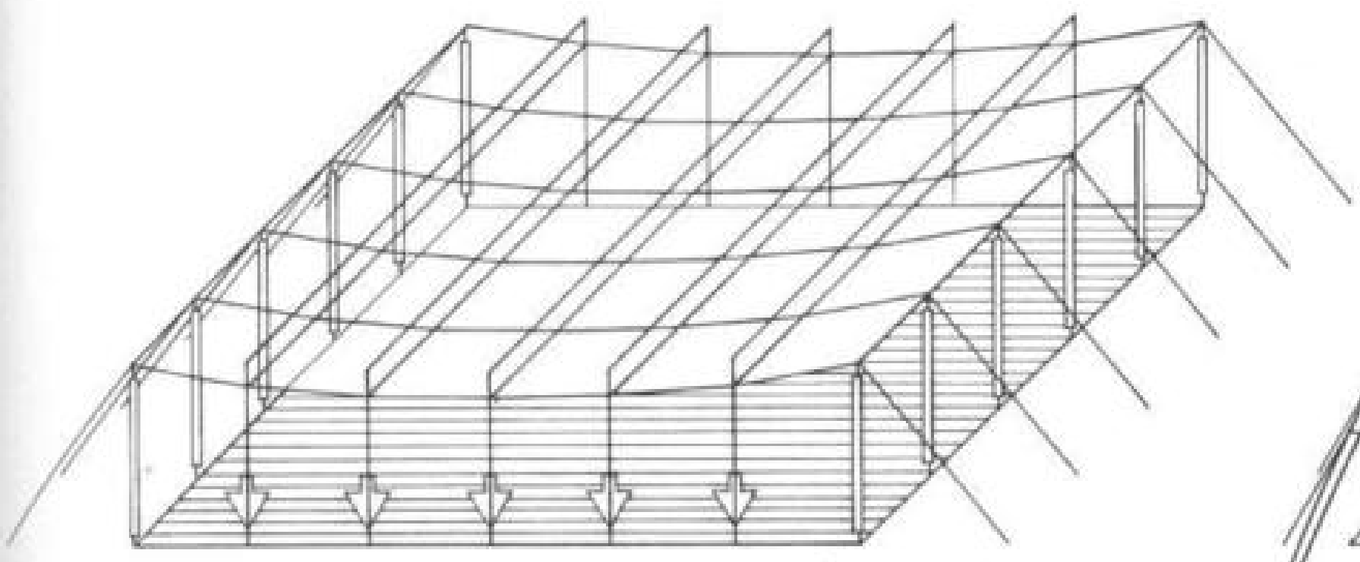
## Sistemas de desenho perimetral para redes de cabos com curvaturas opostas

*derivação de planta de forma quadrada*



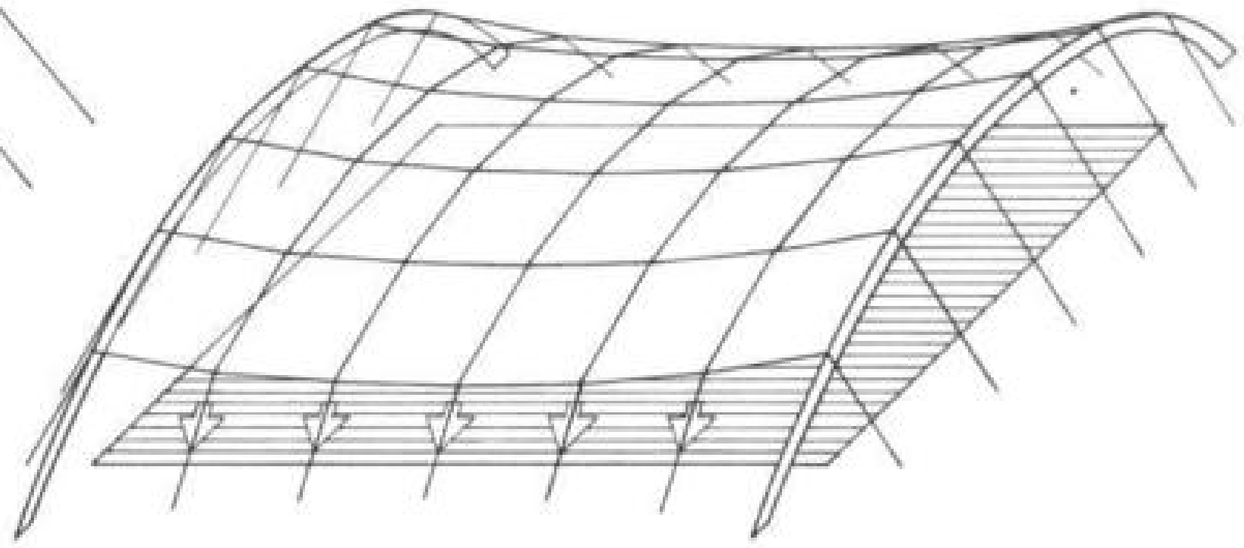
## Sistemas pretensados con estabilización transversal

## Sistemas protendidos com estabilização transversal



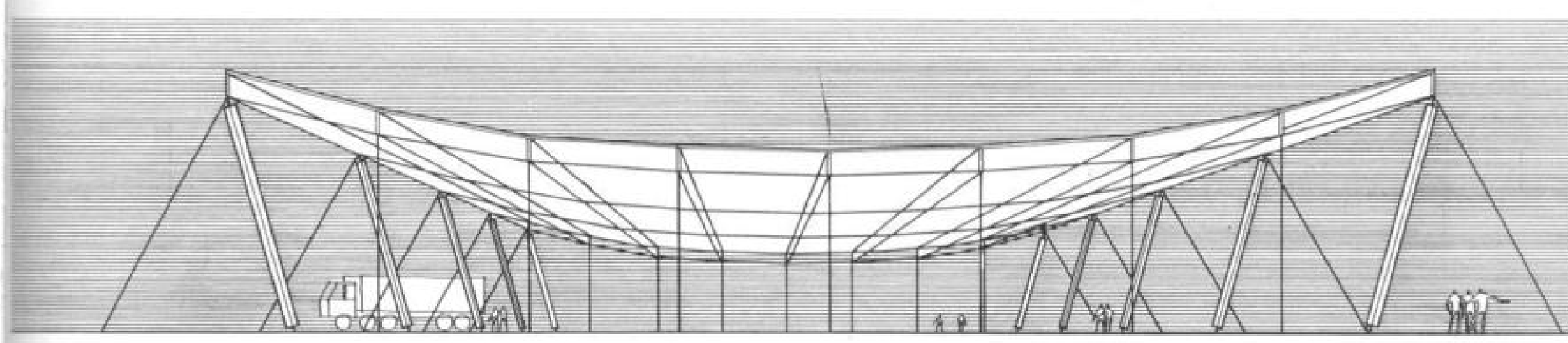
Estabilización mediante vigas transversales resistentes a flexión y ancladas al suelo

Estabilização por meio de vigas transversais fixas na base



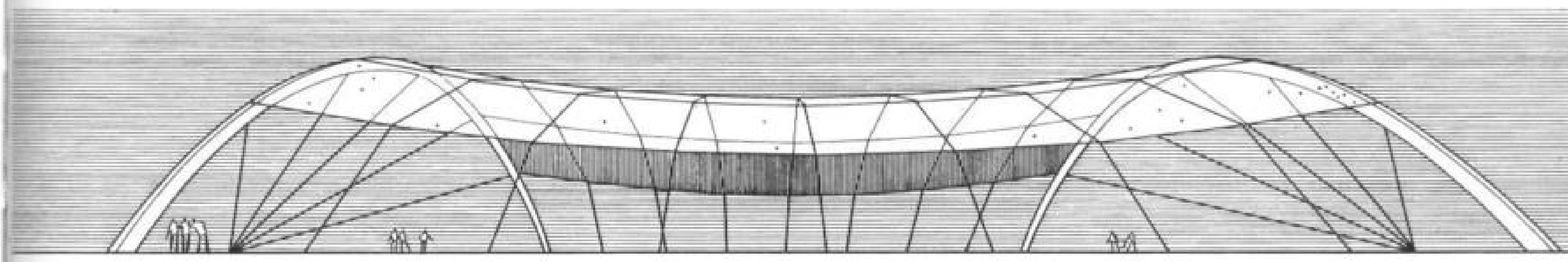
Estabilización mediante cables anclados al suelo con curvatura en dos direcciones

Estabilização por meio de cabos transversais com curvaturas opostas



Sistema con vigas de estabilización transversales

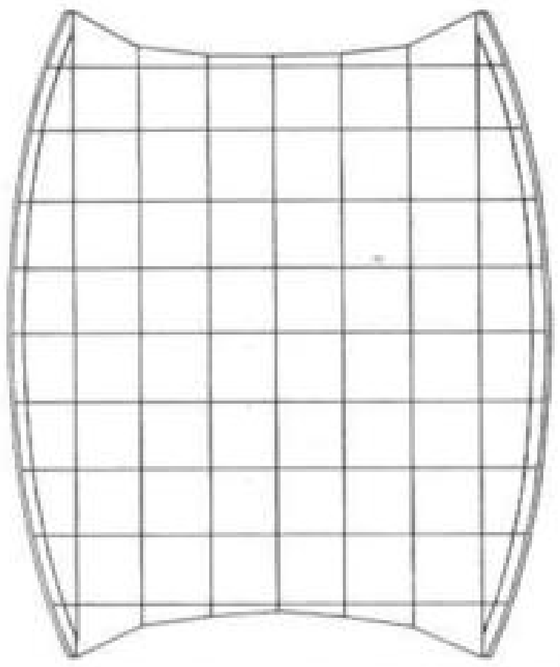
Sistema com vigas transversais de estabilização



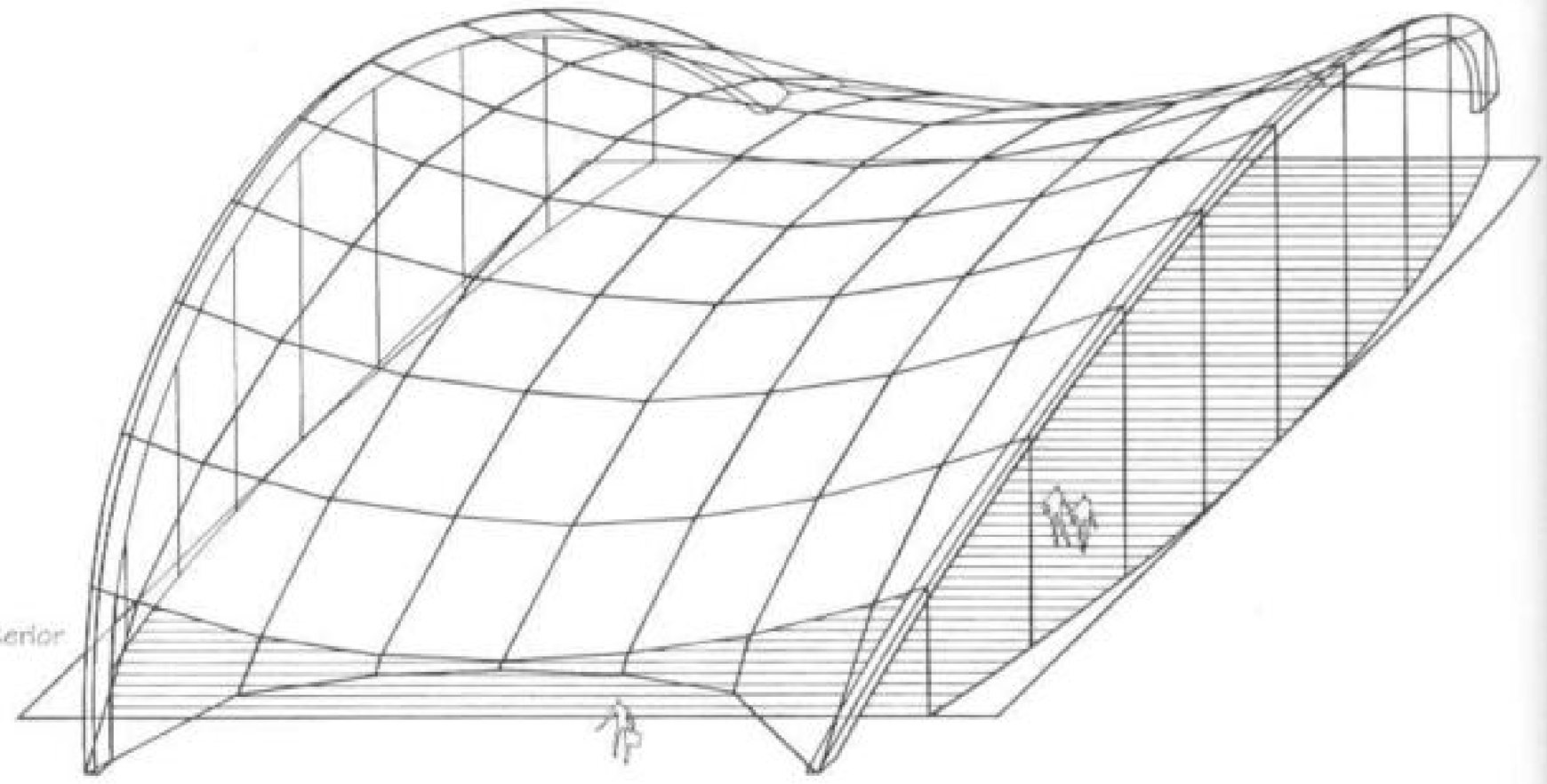
Sistema con cables de estabilización traneversales

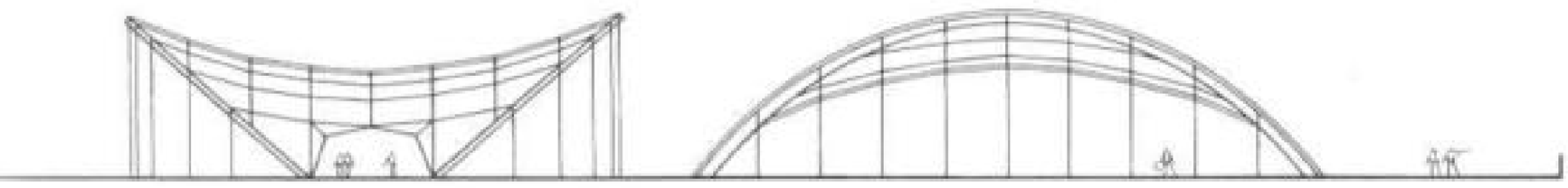
Sistema com cabos transversais de estabilização

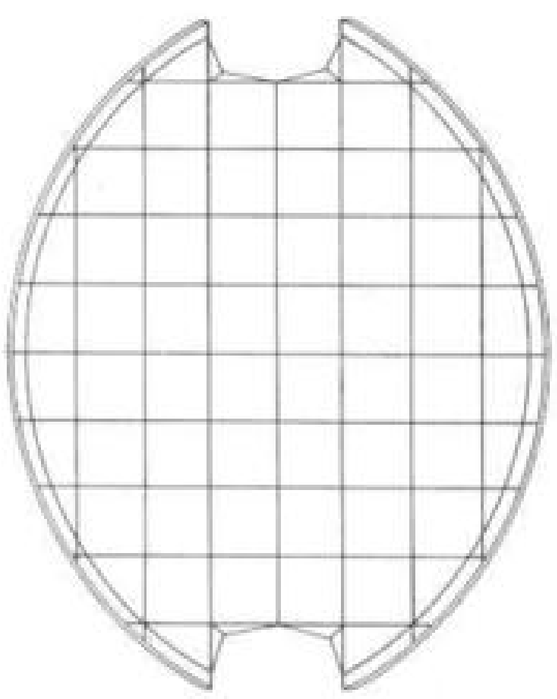
## Sistemas de arcos de apoyo para mallas de cables de curvatura en dos direcciones



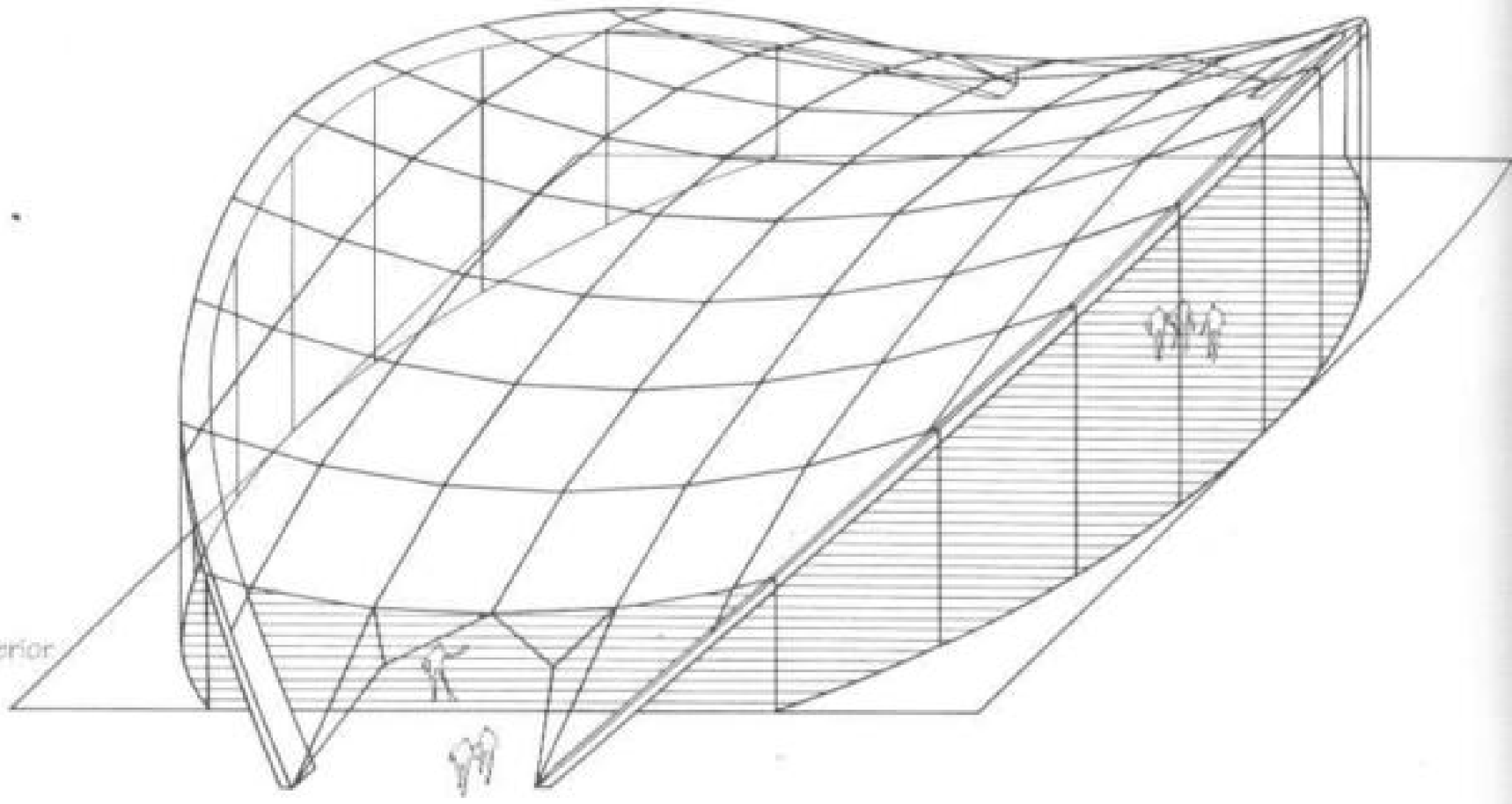
Arcos de apoyo ligeramente inclinados hacia el exterior
Arcos levemente inclinados para fora







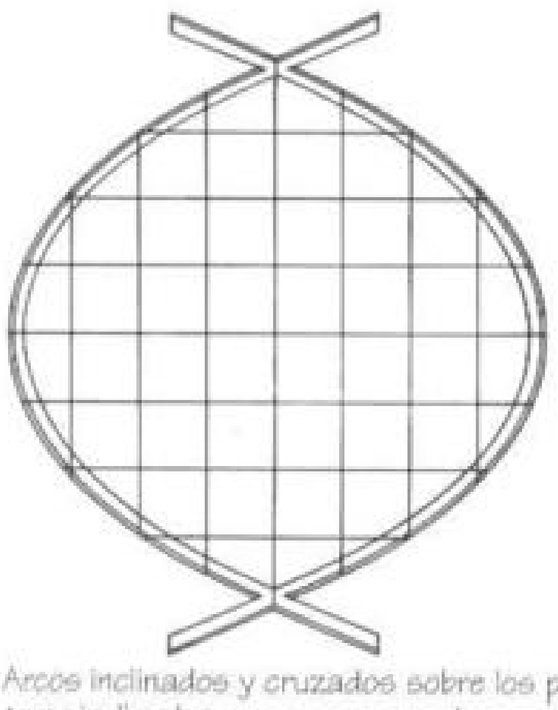
Base de los arcos de apoyo desplazada hacia el interior
Pontos de apoio dos arcos virados para dentro



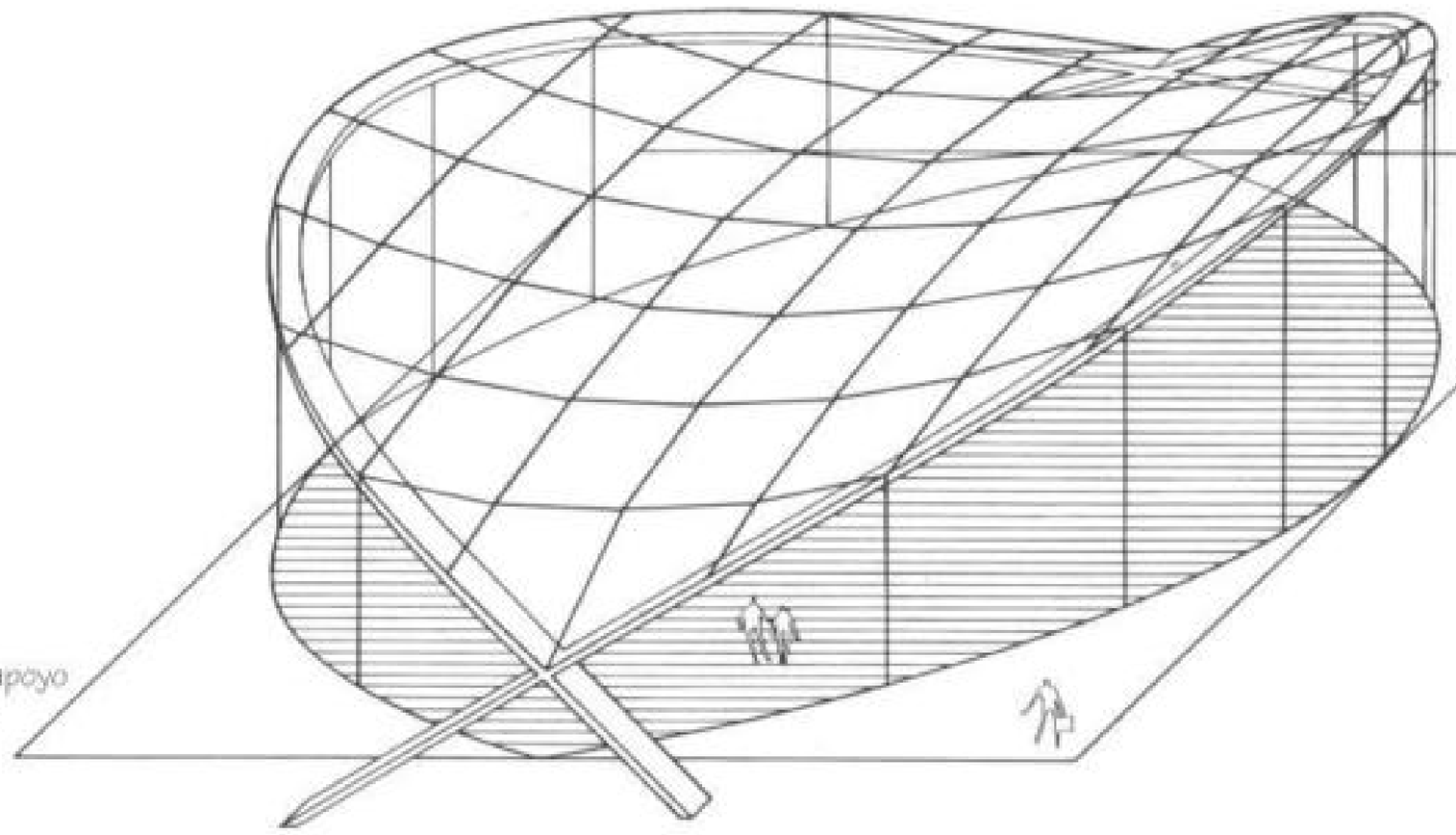
## Sistemas de arcos para redes de cabos com curvaturas opostas

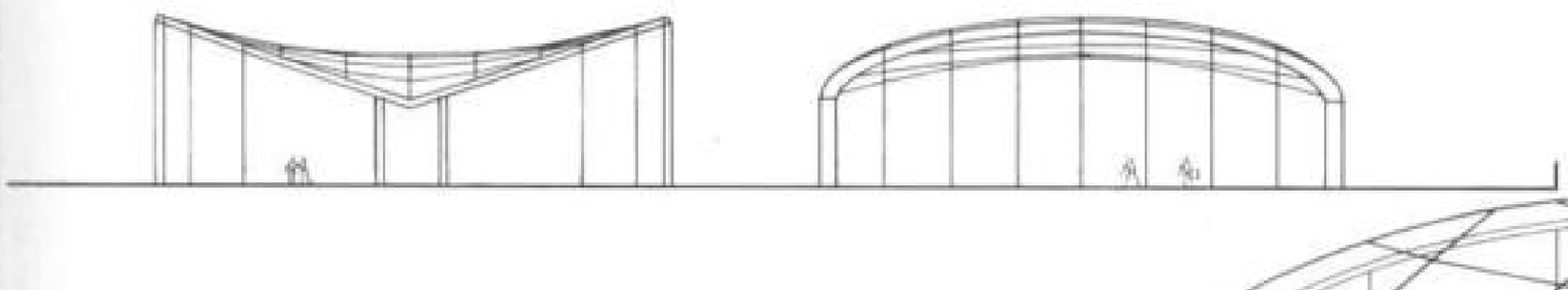
## Sistemas de arcos de apoyo para mallas de cables de curvatura en dos direcciones

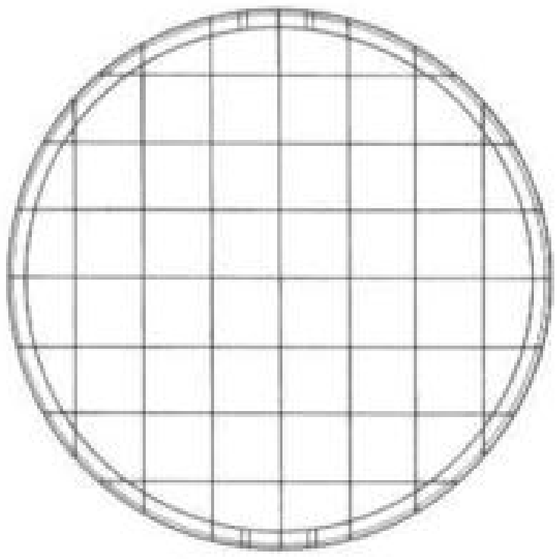
Transición del arco de apoyo a viga anular



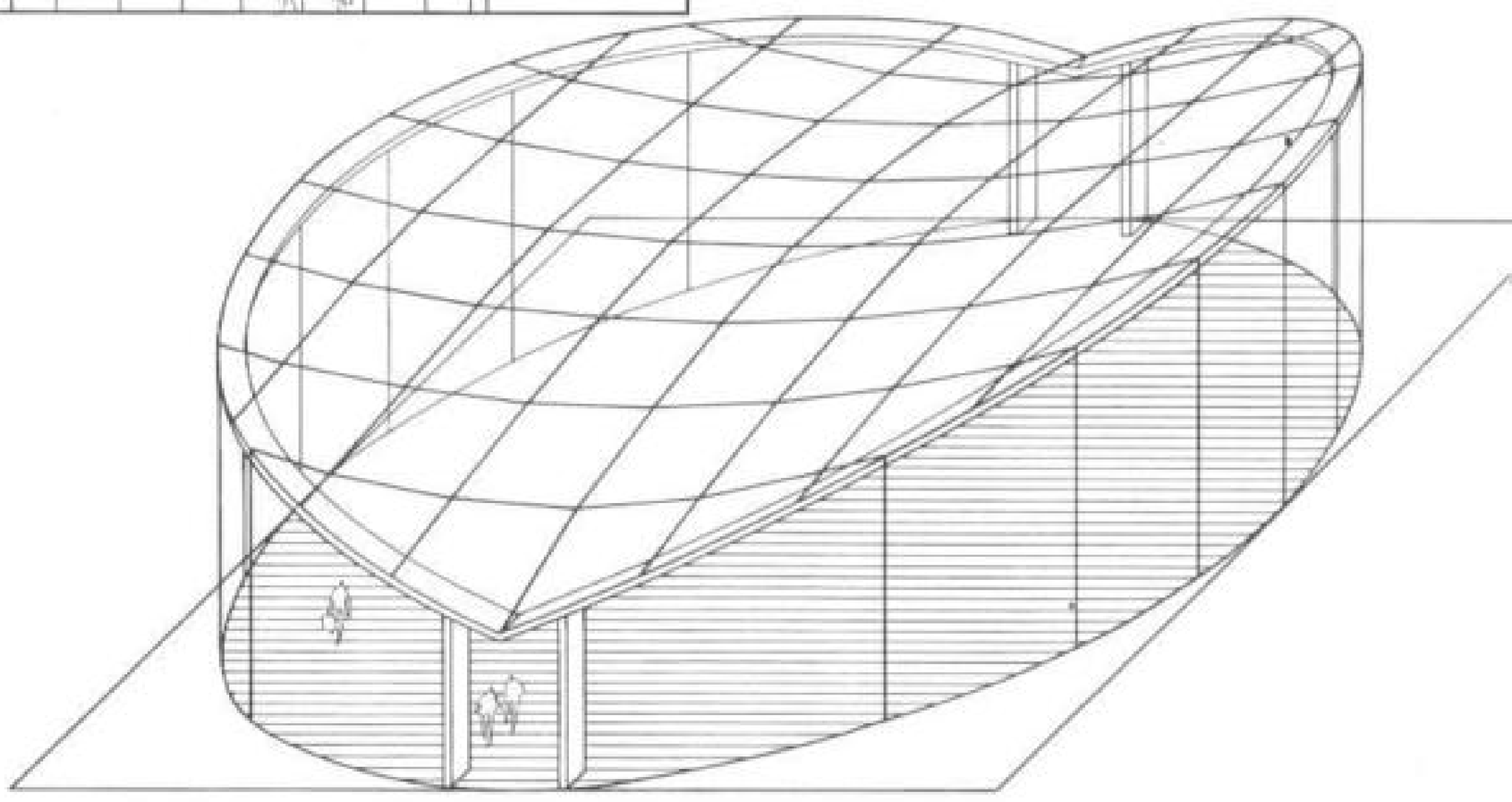
Arcos inclinados y cruzados sobre los puntos de apoyo
Arcos inclinados que se cruzam sobre as suas bases





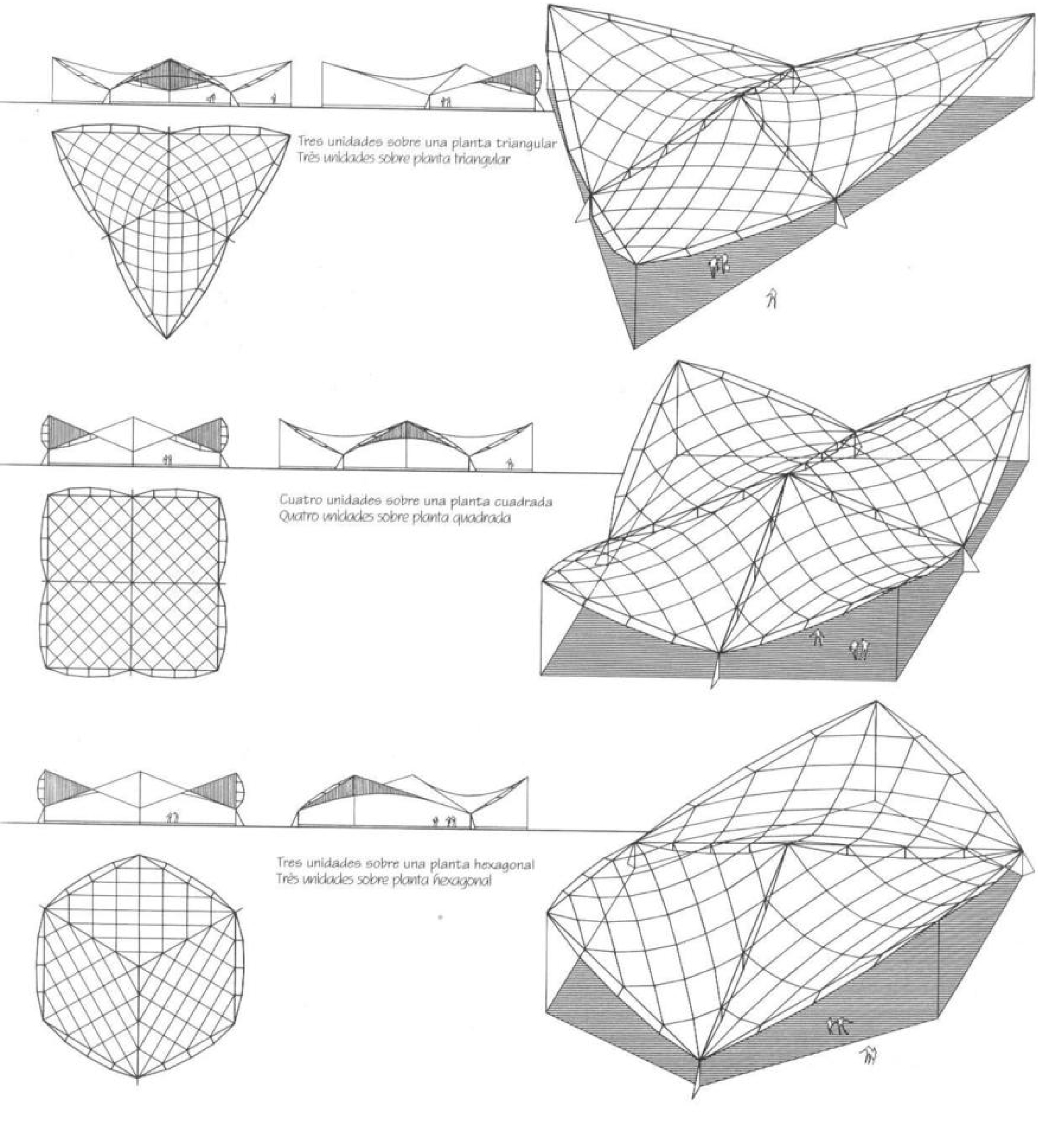


Viga anular inclinada apoyada sobre pilares
Apoio anular dobrado sobre suportes extremos



Combinación de mallas de cables con curvatura en dos direcciones con perímetro recto

Combinação de redes de cabos de curva reversa com bordas retas



Tres unidades sobre una planta triangular
Três unidades sobre planta triangular

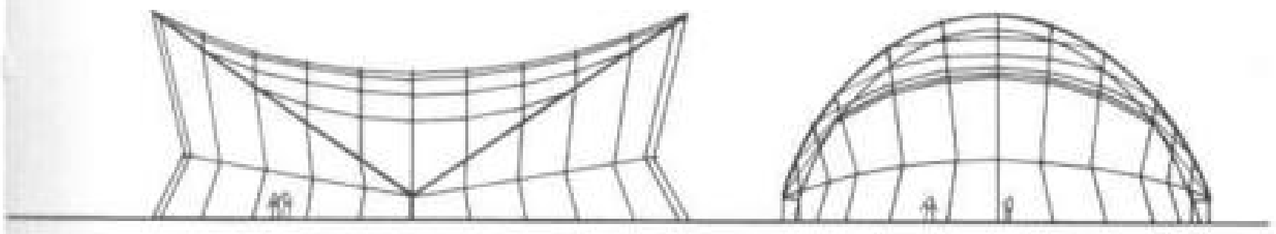


Cuatro unidades sobre una planta cuadrada
Quatro unidades sobre planta quadrada

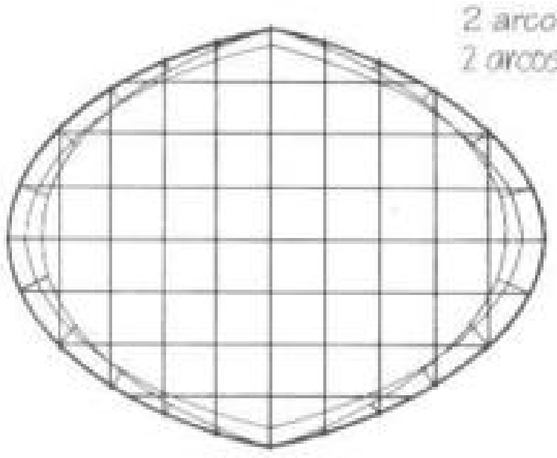


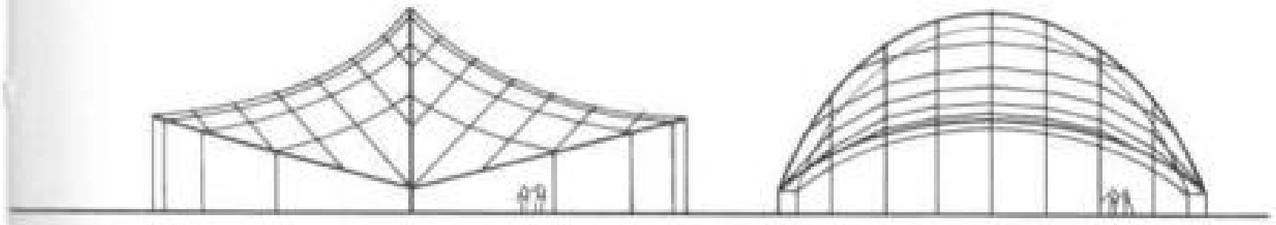
Tres unidades sobre una planta hexagonal
Três unidades sobre planta hexagonal

## Combinación de mallas de cables con curvatura en dos direcciones y arcos perimetrales

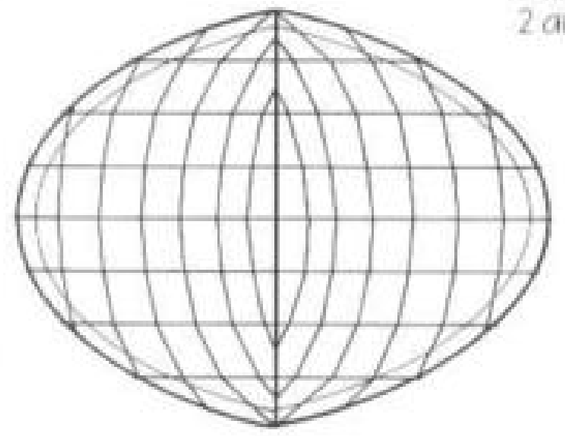


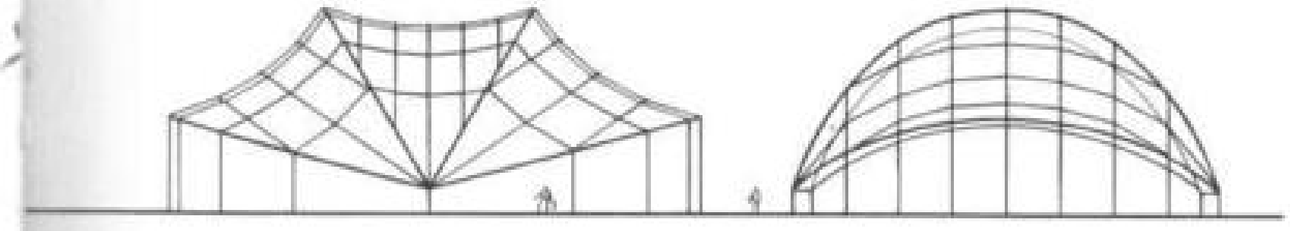
2 arcos perimetrales con puntos de apoyo comunes
2 arcos de borda com apoios comuns



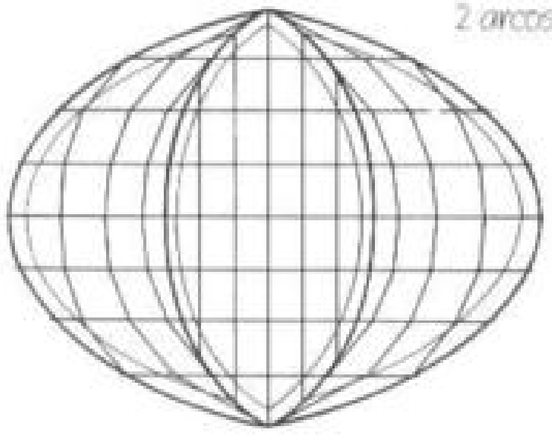


2 arcos perimetrales con arco central
2 arcos de borda com um arco central

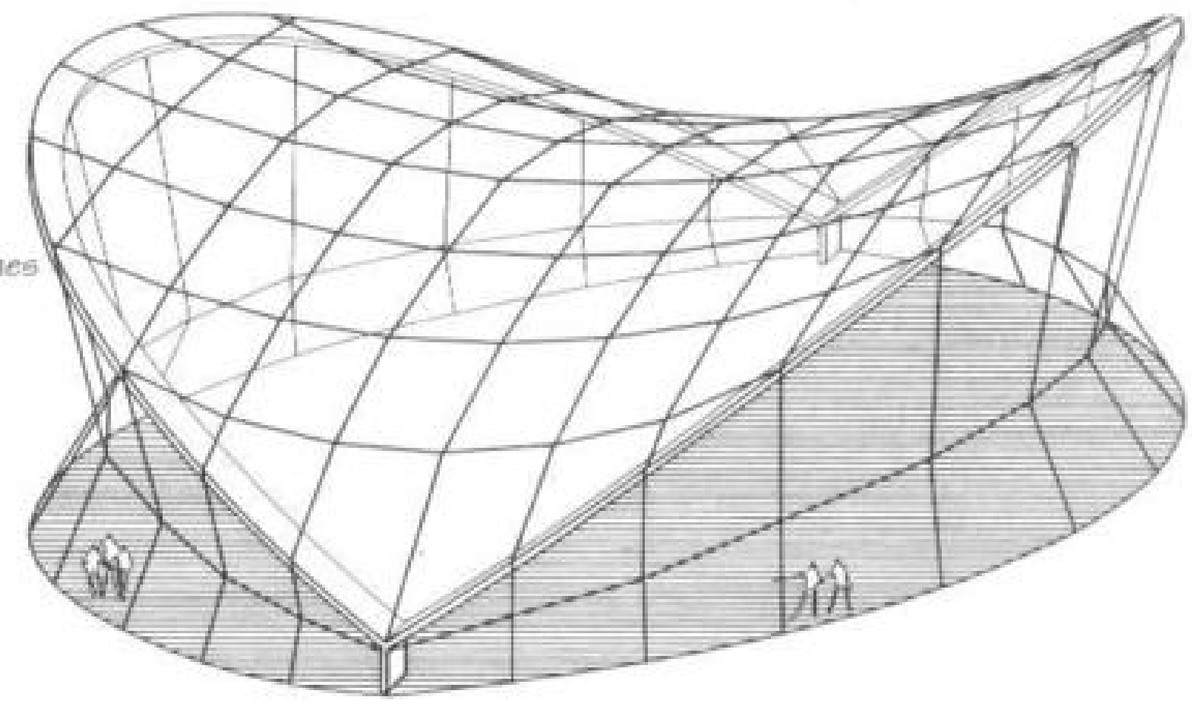


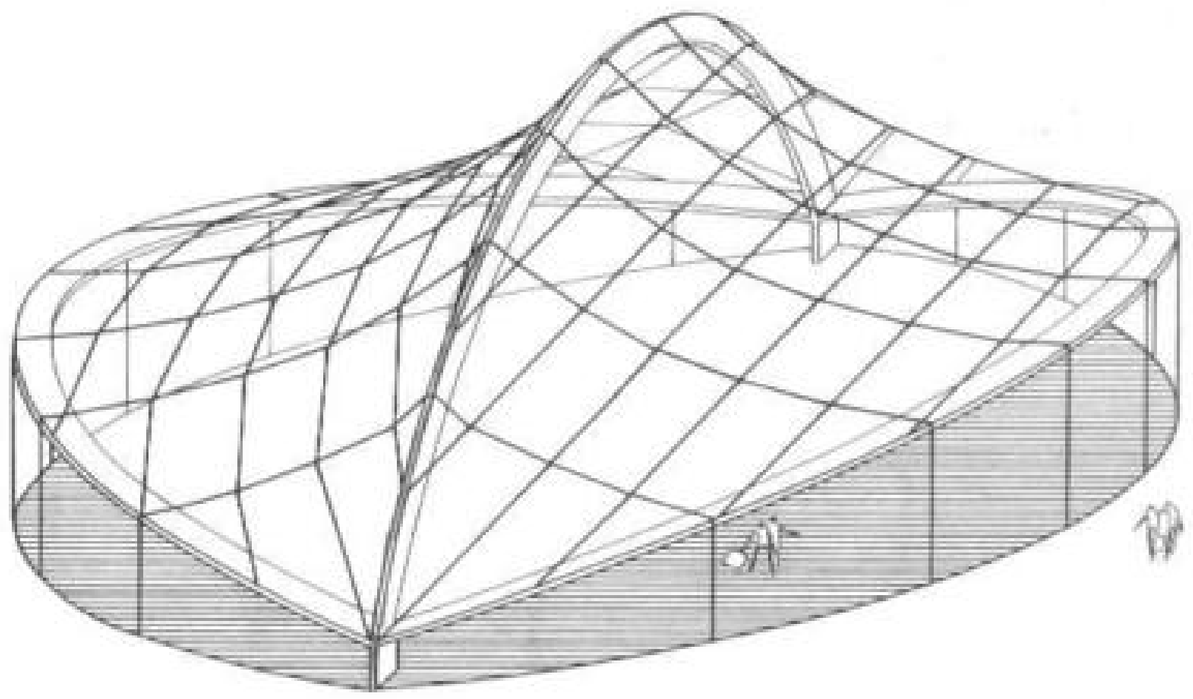


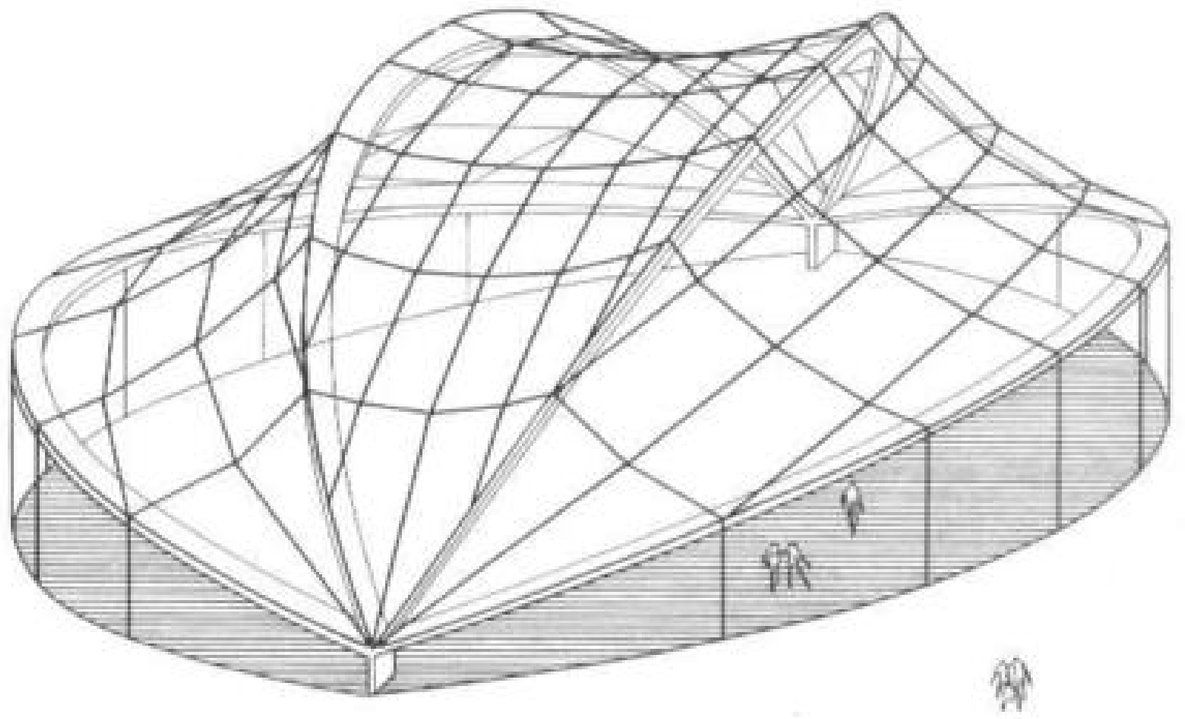
2 arcos perimetrales con dos arcos intermedios
2 arcos de borda com dois arcos intermediários



## Combinação de redes de cabos de curva reversa com arcos de borda





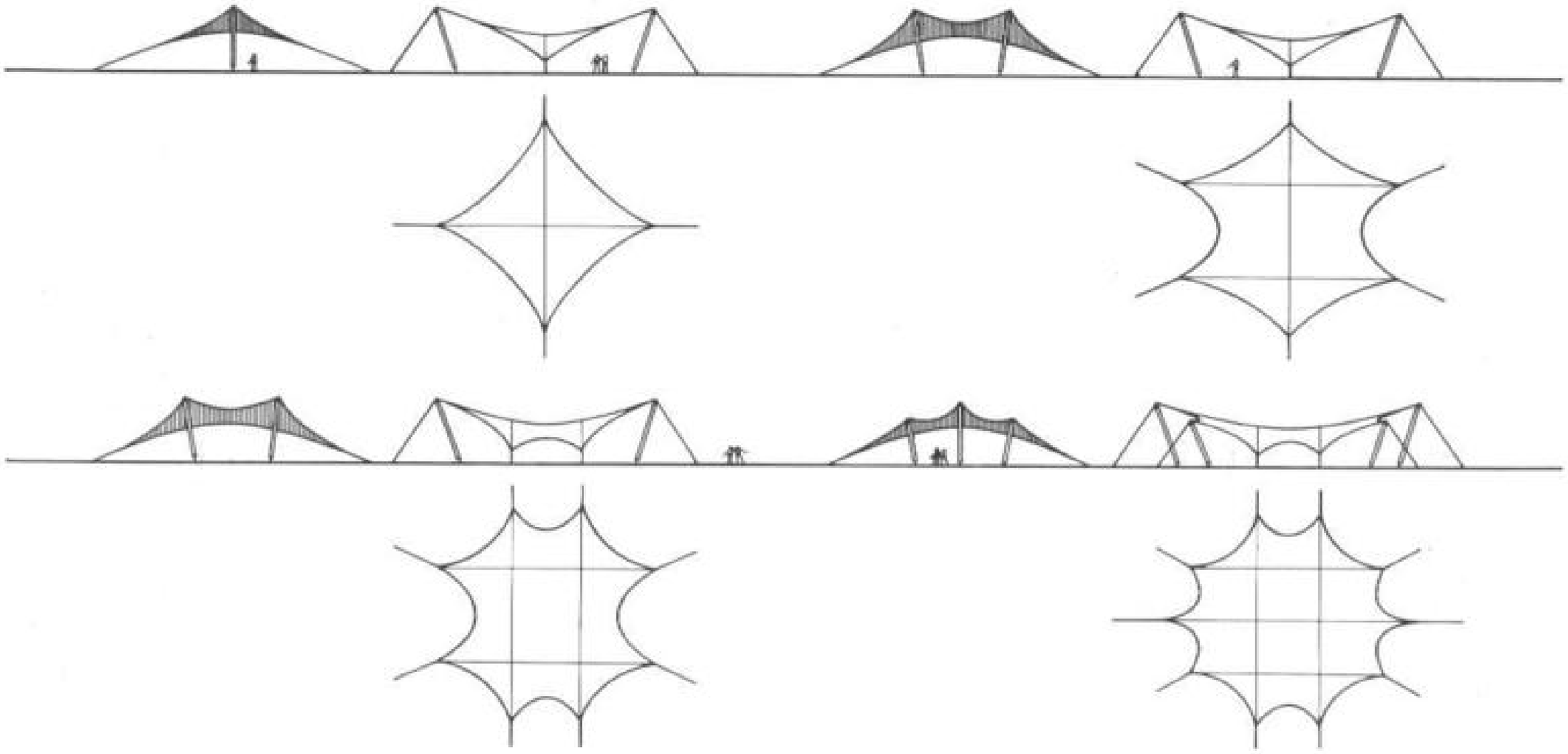


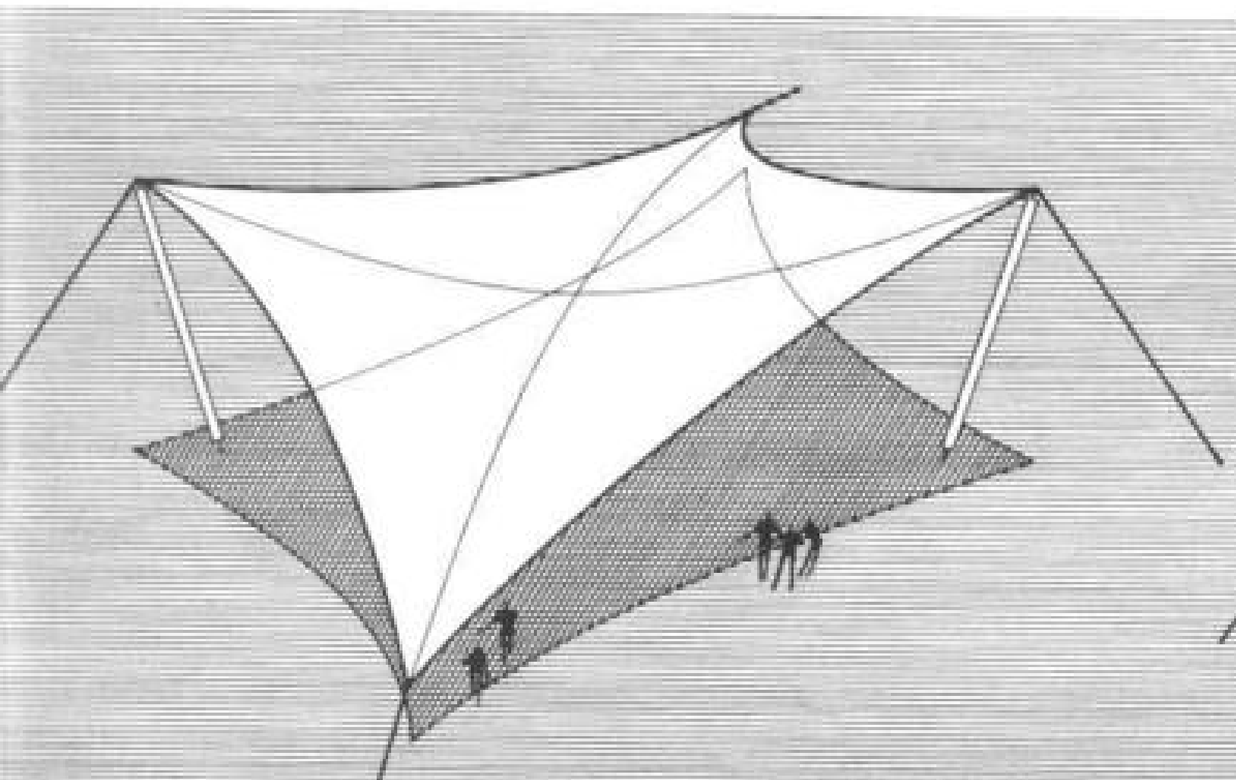
## Sistemas en forma de tienda con soportes exteriores mediante barras a compresión

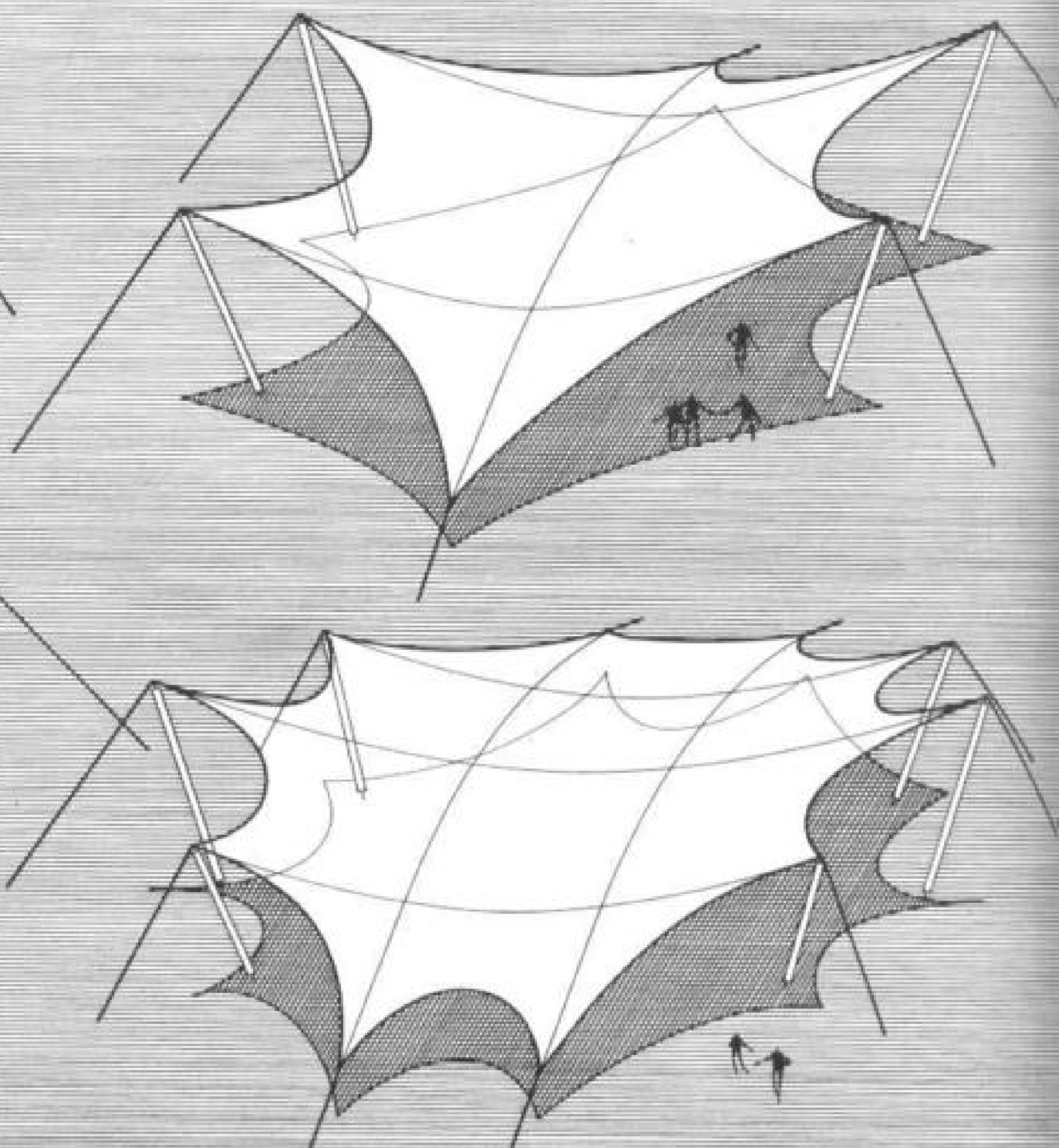
Sistemas con superficies sencillas a dos aguas

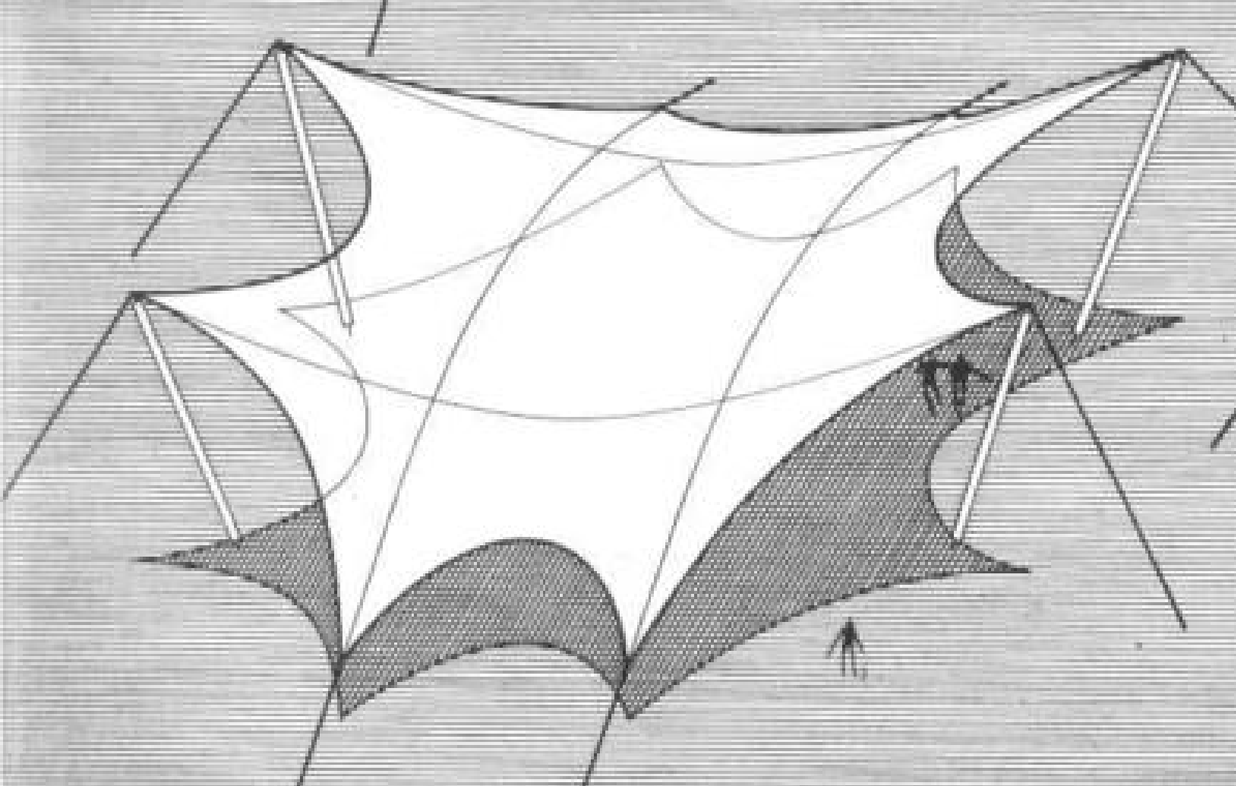
## Sistemas de tenda com apoio externo por meio de barras de compressão

Sistemas com superfícies em forma de sela simples







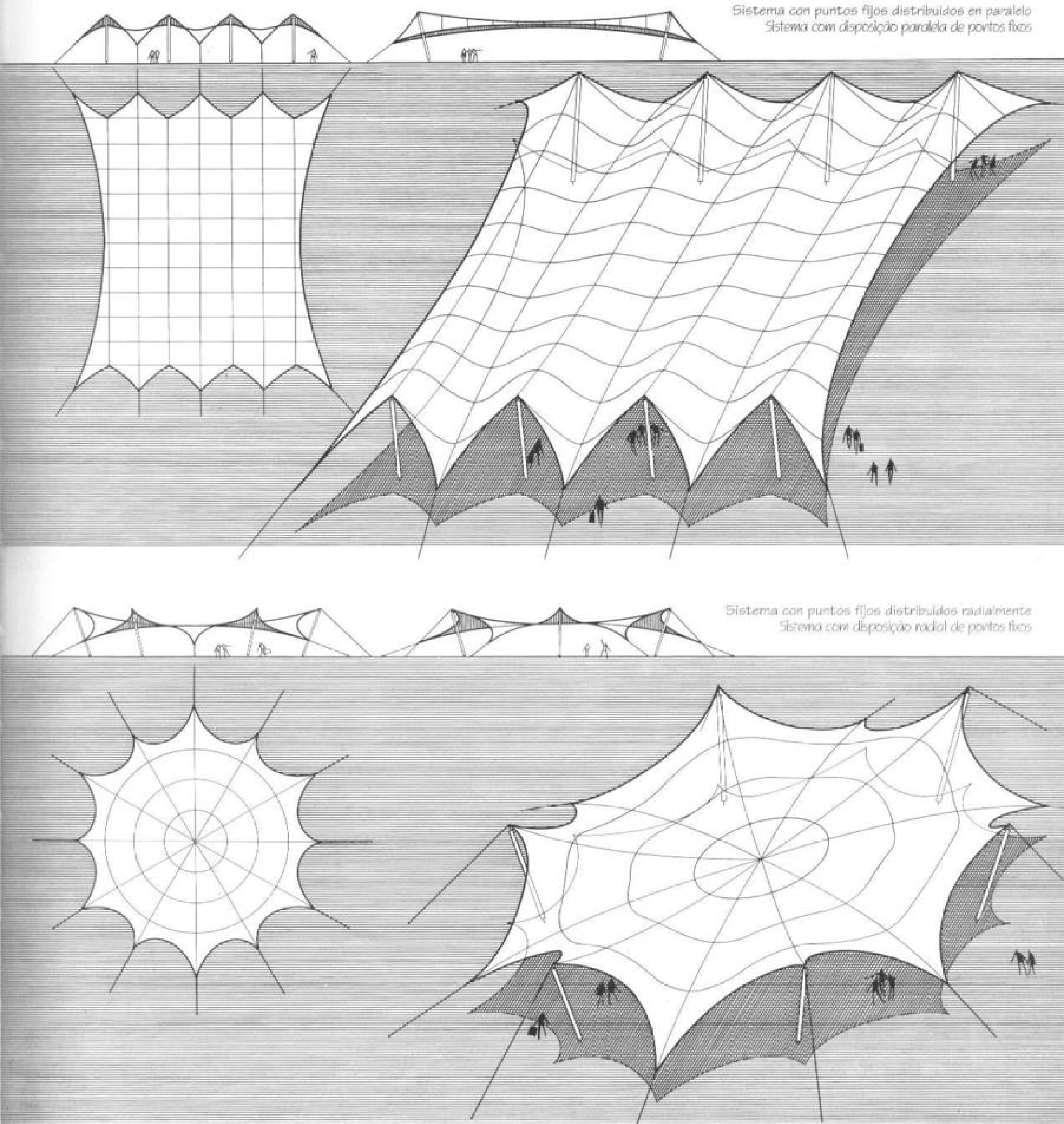


## Sistemas en forma de tienda con puntos de soporte y anclaje alternados

*Sistemas con superficies onduladas*

## Sistemas de tenda com suportes e pontos de ancoragem alternados

*Sistemas com superfícies onduladas*



*Sistema con puntos fijos distribuidos en paralelo*
*Sistema com disposição paralela de pontos fixos*

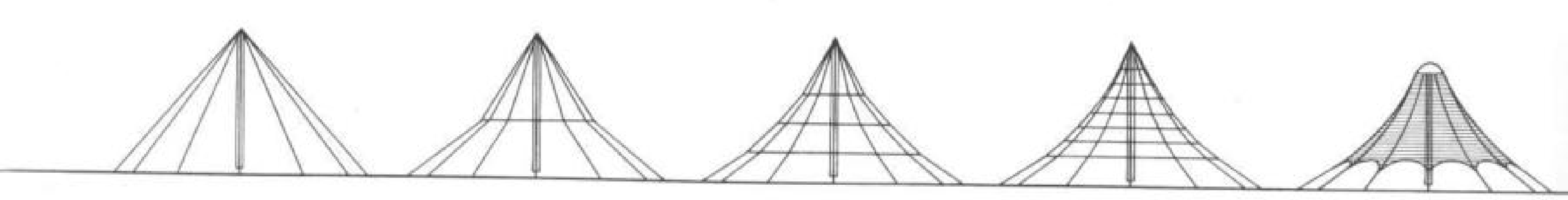
*Sistema con puntos fijos distribuidos radialmente*
*Sistema com disposição radial de pontos fixos*

## Sistemas en forma de tienda con apoyo interior mediante barras a compresión

Sistemas con superficies peraltadas

## Sistemas de tenda com apoio interno por meio de barras de compressão

Sistemas com superfícies em forma de corcova



Derivación de la superficie peraltada a partir de una malla de cables cónica

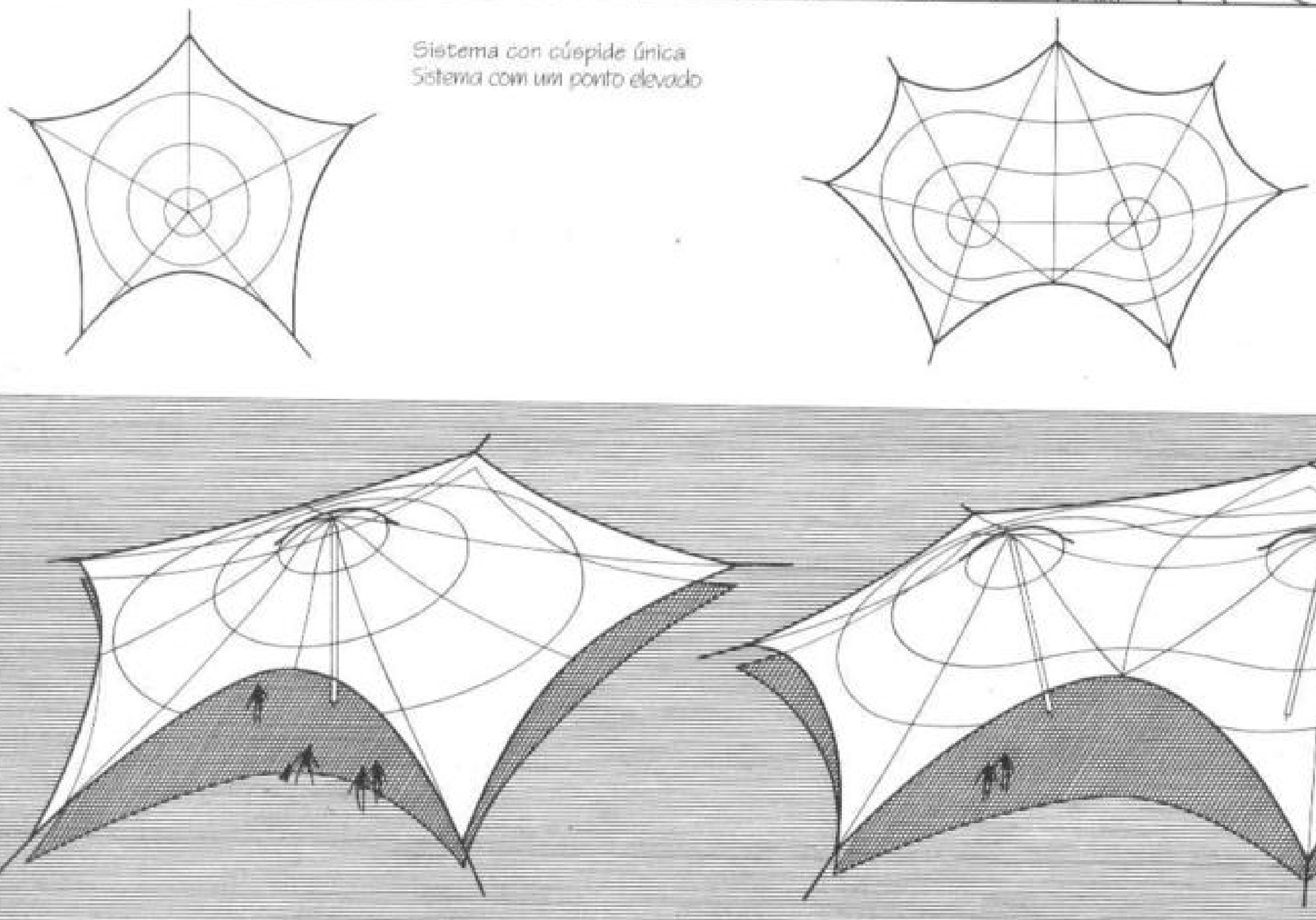
colocando cables anulares horizontales se aumenta la capacidad de resistencia frente a cargas asimétricas. Aumentando la densidad de los cables anulares y meridianos se llega a la membrana en forma de tienda. Gracias a la concentración de las fuerzas en la cúspide, se ha de ampliar la superficie del punto más alto. Surge la punta redondeada.

Derivação das superfícies em concova de uma rede cónica de cabo

por meio de contração com cabos em anel horizontal, aumenta-se a resistência às cargas assimétricas. A condensação de cabos circular e meridional conduz à membrana da tenda. Devido à concentração de forças no ponto alto, o topo deve ser achatado para a ampliação da superfície. A forma torna-se corcovada.

Sistema con cúspide única
Sistema com um ponto elevado

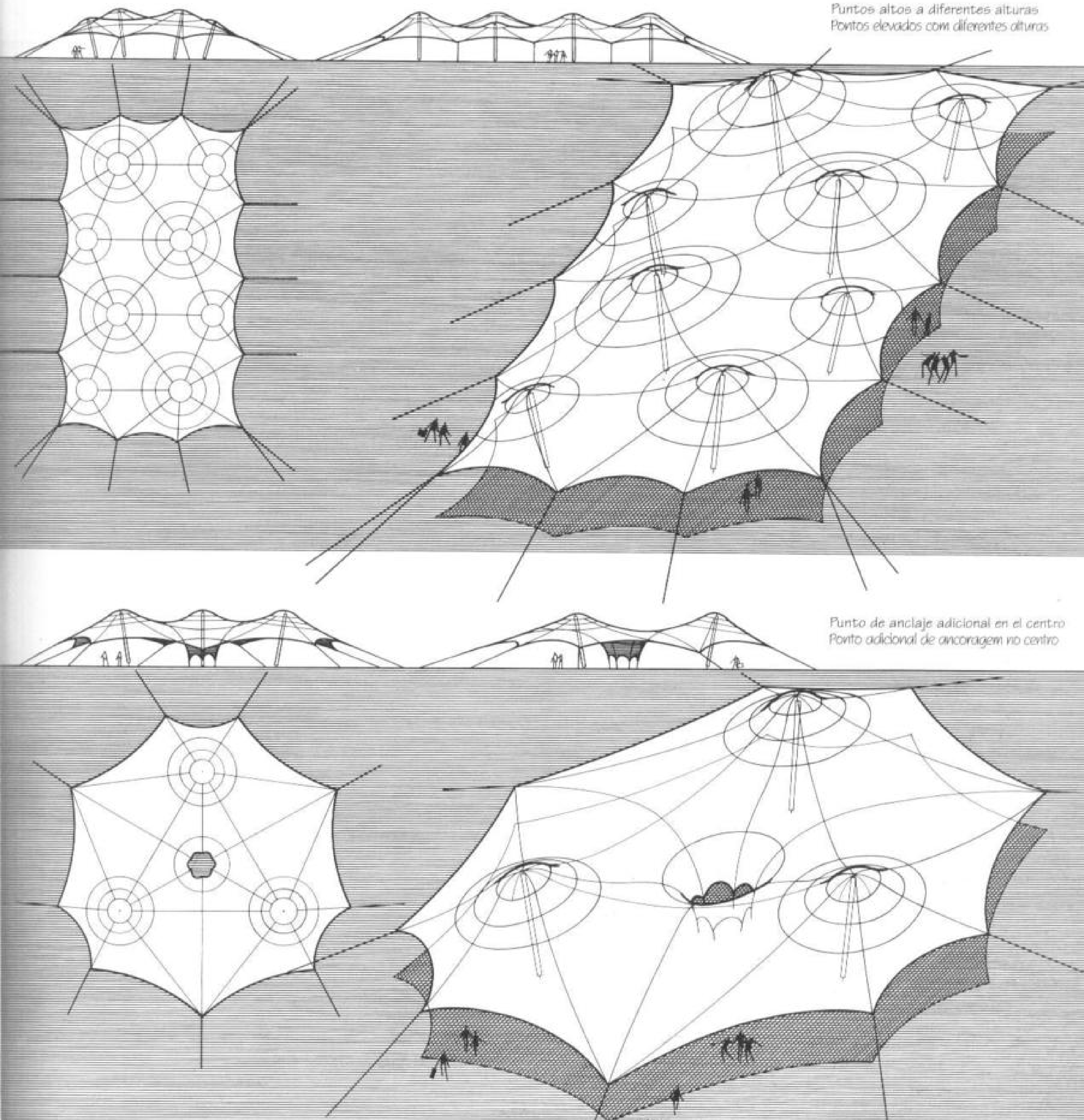
Sistema con dos cúspides
Sistema com dois pontos elevados



## Sistemas en forma de tienda con apoyo interior mediante barras a compresión

## Sistemas de tenda com apoio interno através de barras de compressão

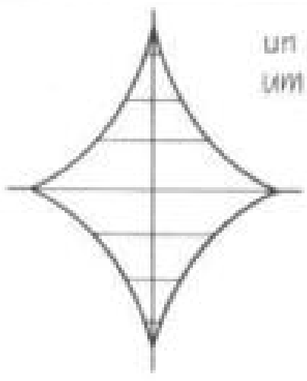
Puntos altos a diferentes alturas
Pontos elevados com diferentes alturas



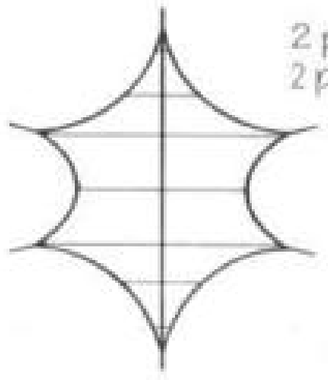
Punto de anclaje adicional en el centro
Ponto adicional de ancoragem no centro

Sistemas en forma de tienda con un arco de apoyo interior para construir el punto alto

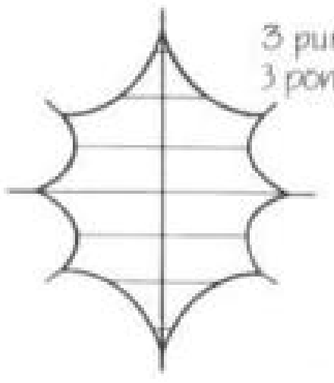
Sistemas de tenda com arco interno para a construção do ponto elevado



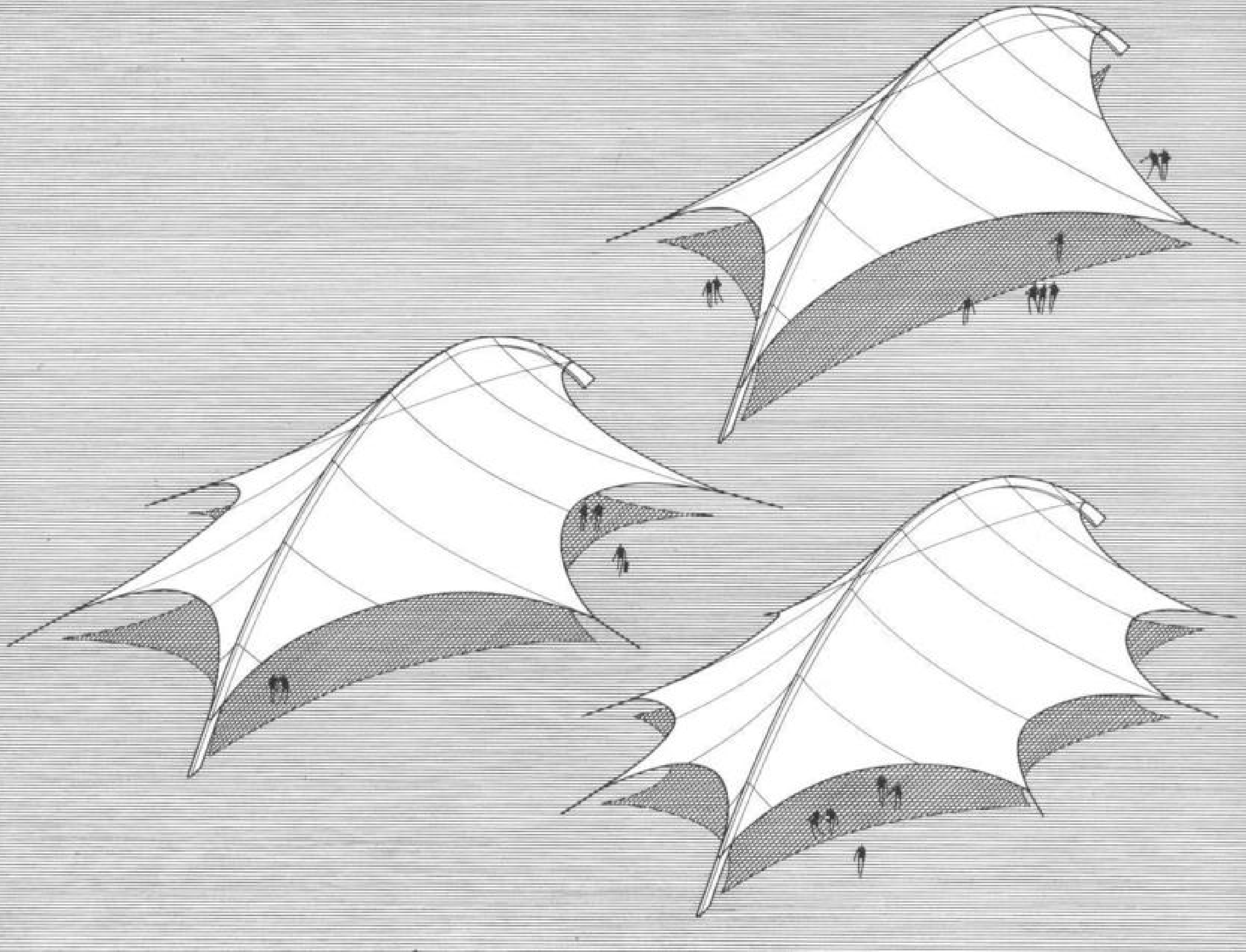
un punto de anclaje a cada lado
um ponto de ancoragem em cada lado



2 puntos de anclaje a cada lado
2 pontos de ancoragem em cada lado

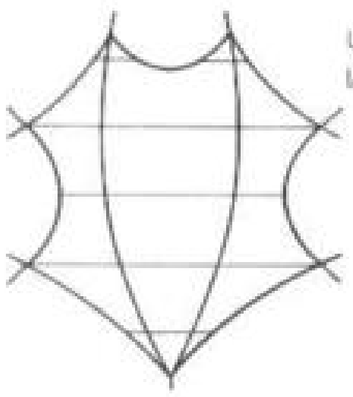


3 puntos de anclaje a cada lado
3 pontos de ancoragem em cada lado

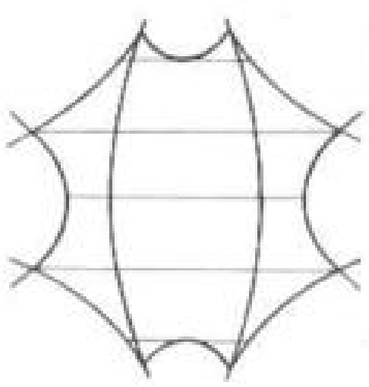


## Sistemas en forma de tienda con dos arcos de apoyo interiores para construir el punto alto

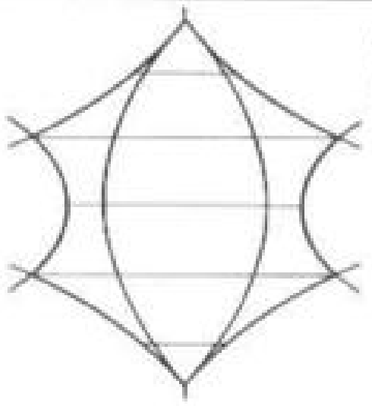
## Sistemas de tenda com dois arcos centrais para a construção do ponto elevado



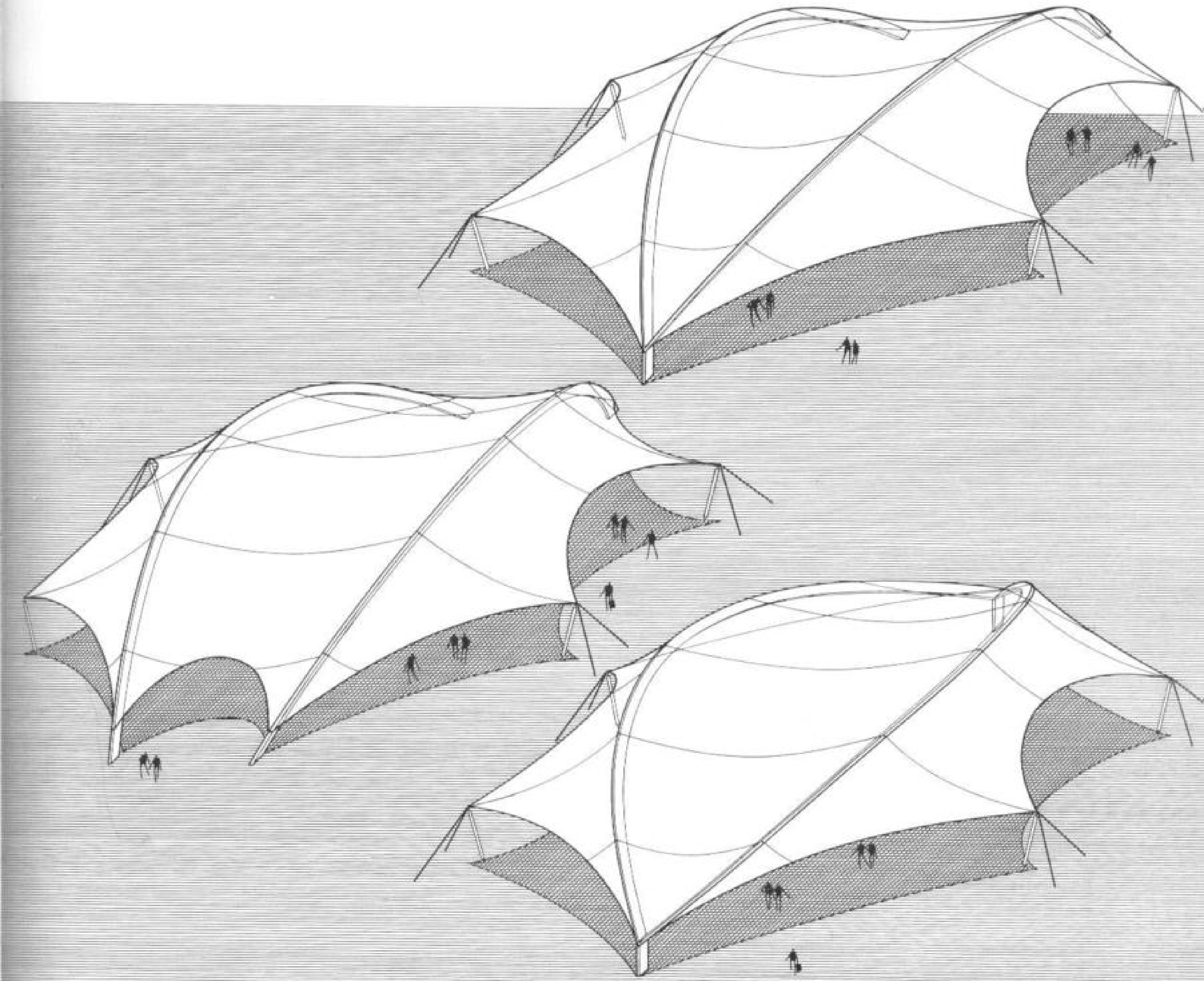
un punto de apoyo común
um ponto de apoio comum



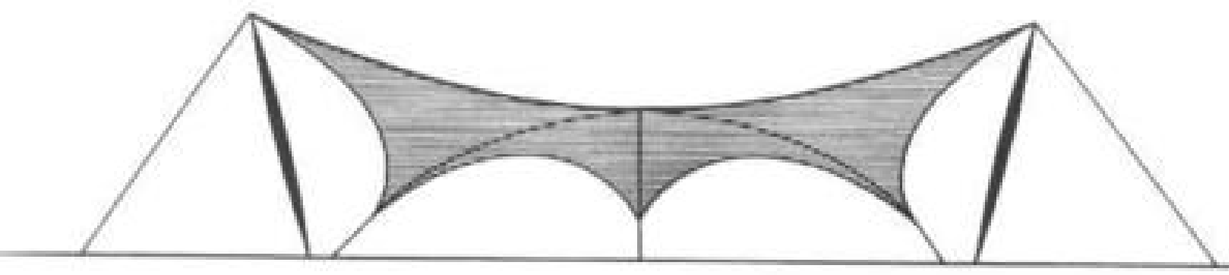
apoyos separados
pontos de apoio separados



puntos de apoyo comunes
pontos de apoio comuns

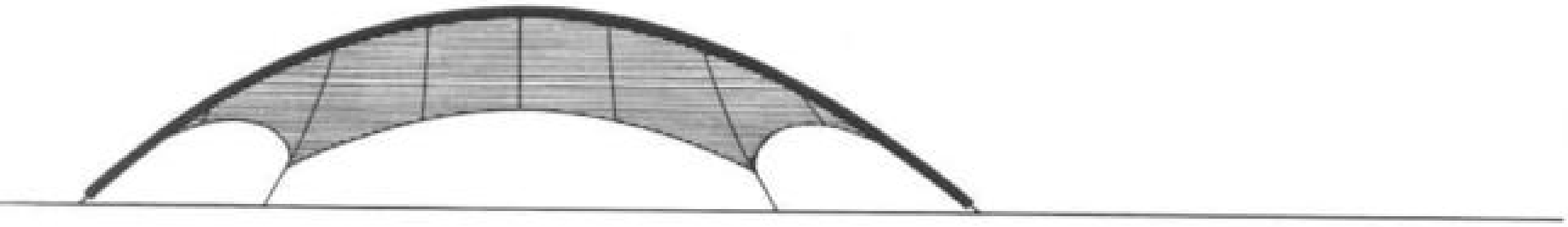


## Sistemas de construcción directos para puntos altos
## Sistemas de construção direta para pontos elevados



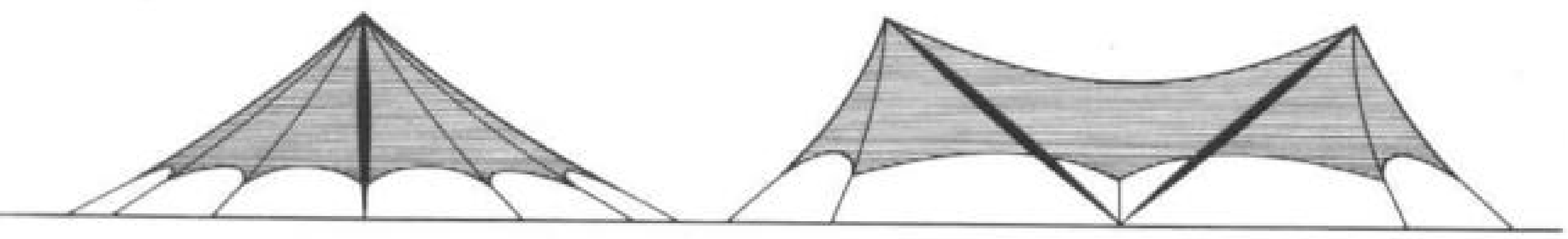
soportes exteriores para puntos altos perimetrales

*suportes externos para pontos elevados dispostos perifericamente*



arco interior para puntos altos situados axialmente (lineales)

*arco interno para pontos elevados dispostos axialmente*



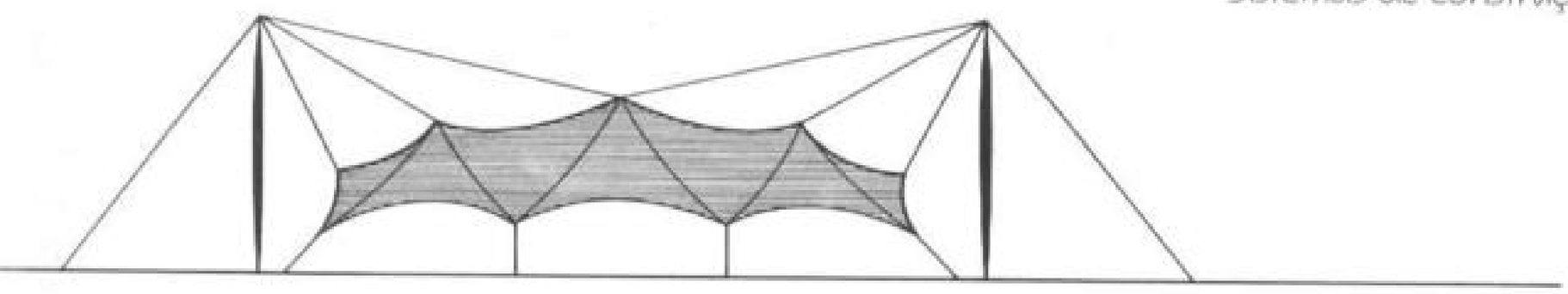
soportes interiores para puntos altos situados en el centro

*suportes internos para pontos elevados dispostos centralmente*

soportes exteriores para puntos altos situados en el centro

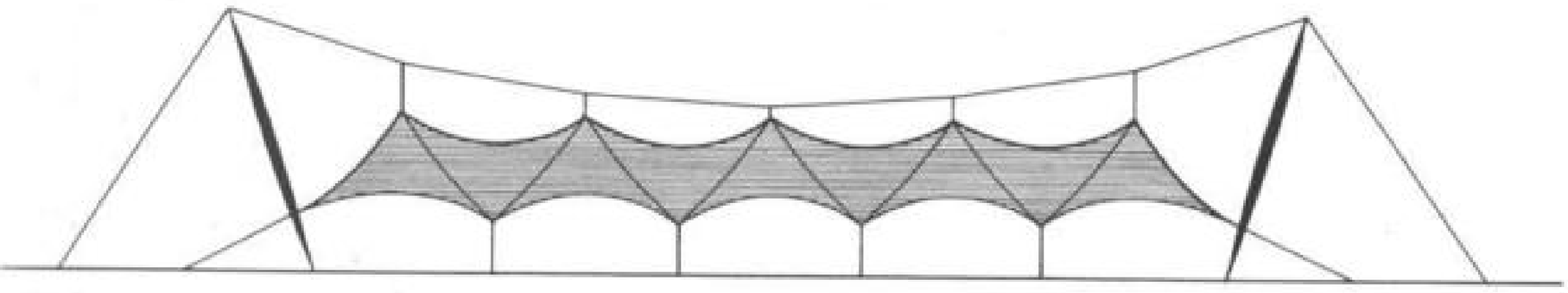
*suportes externos para pontos elevados dispostos centralmente*

## Sistemas de construcción indirectos para puntos altos
## Sistemas de construção indireta para pontos elevados



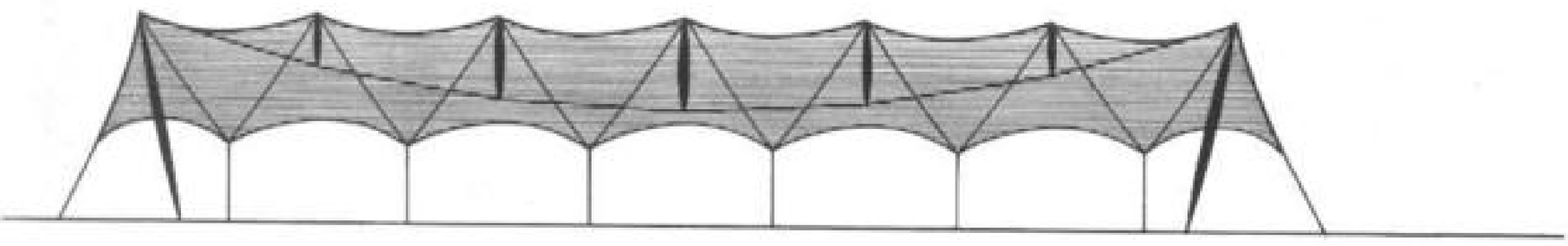
soportes exteriores con cables suspendidos para puntos altos situados en el centro

*suportes externos com cabos suspensos para pontos elevados dispostos centralmente*



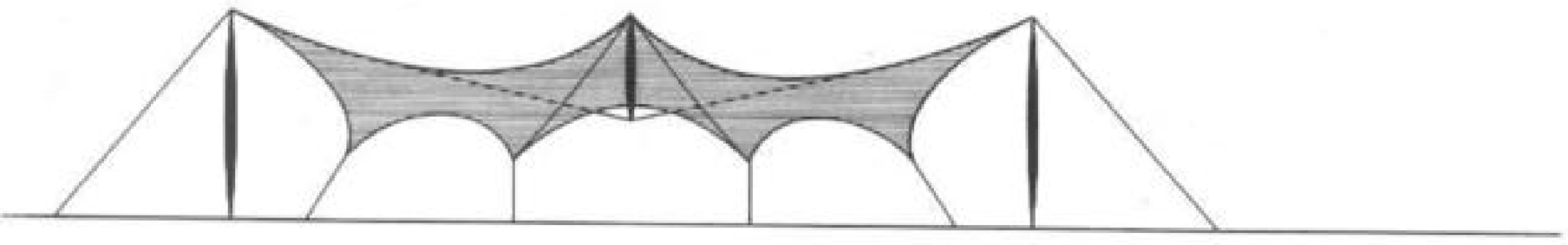
soportes exteriores con cable portante para suspender los puntos altos centrales

*suportes externos com cabo portante para suspensão de pontos elevados dispostos centralmente*



soportes interiores con cable portante para apoyar los puntos altos centrales

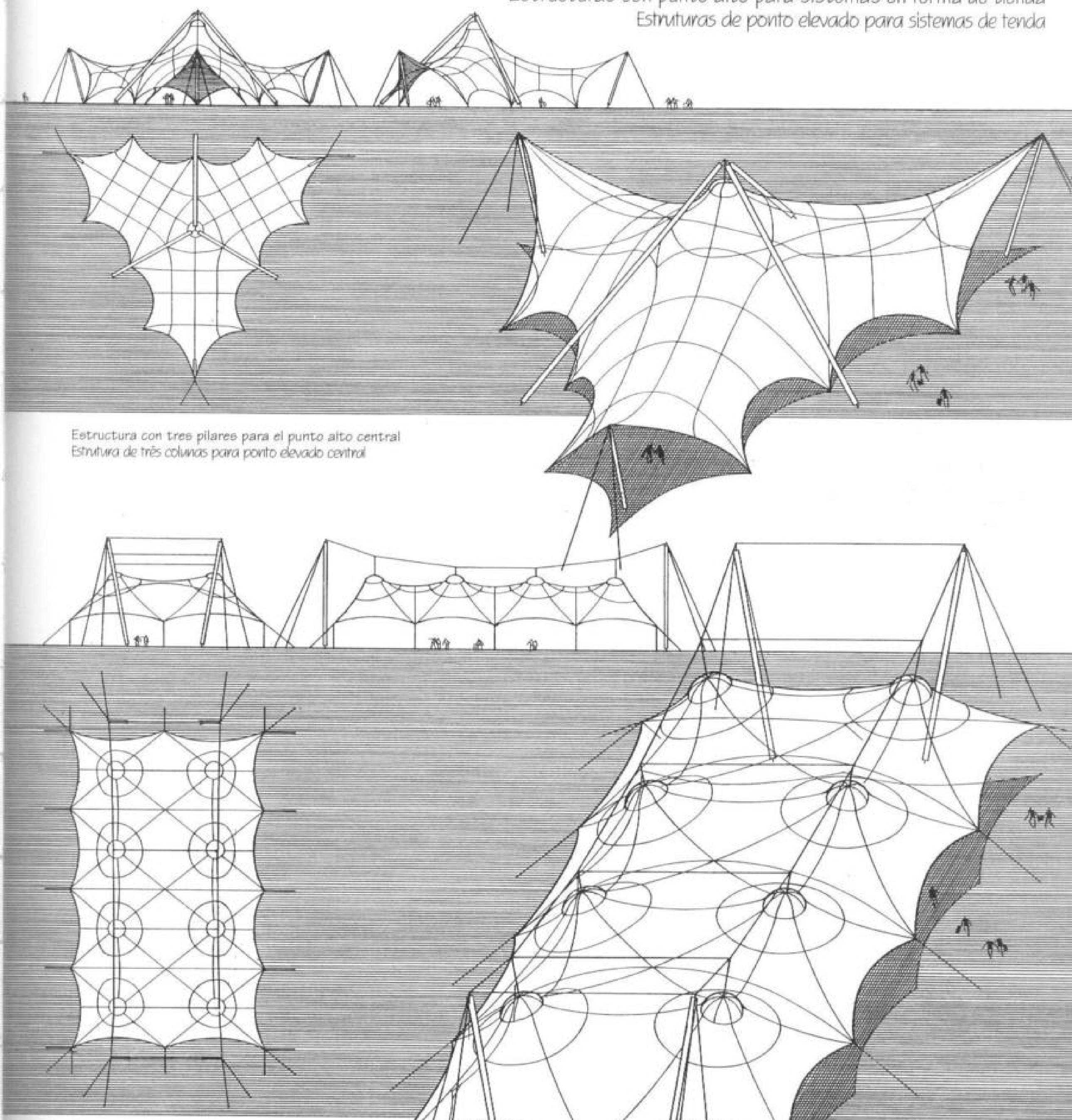
*suportes internos com cabo portante para suspensão de pontos elevados dispostos centralmente*



soportes exteriores para puntos altos perimetrales y un cable suspendido para apoyar el punto alto adicional central

*suportes externos para pontos elevados periféricos, com cabo de suspensão para ponto elevado adicional disposto centralmente*

Estructuras con punto alto para sistemas en forma de tienda
Estruturas de ponto elevado para sistemas de tenda



Estructura con tres pilares para el punto alto central
Estrutura de três colunas para ponto elevado central

Estructura suspendida para puntos altos alineados
Estrutura suspendida para pontos elevados alinhados

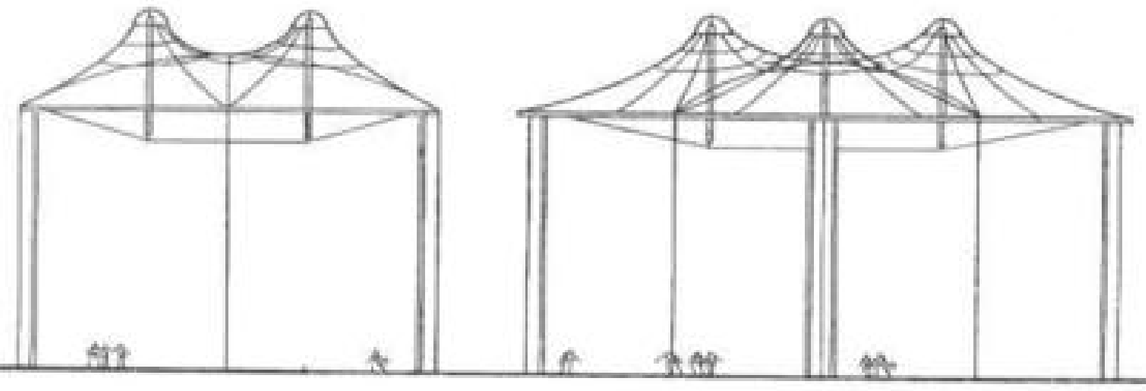
Estructuras con punto alto para sistemas en forma de tienda

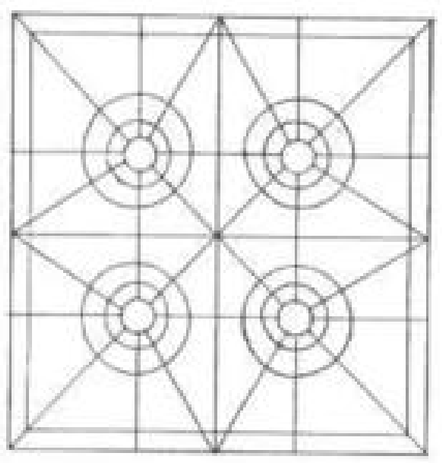
Estruturas de ponto elevado para sistemas de tenda

Pilones aislados hacia un solo lado para una serie de puntos altos situados en curva
Torres individuais laterais para pontos elevados alinhados em curva

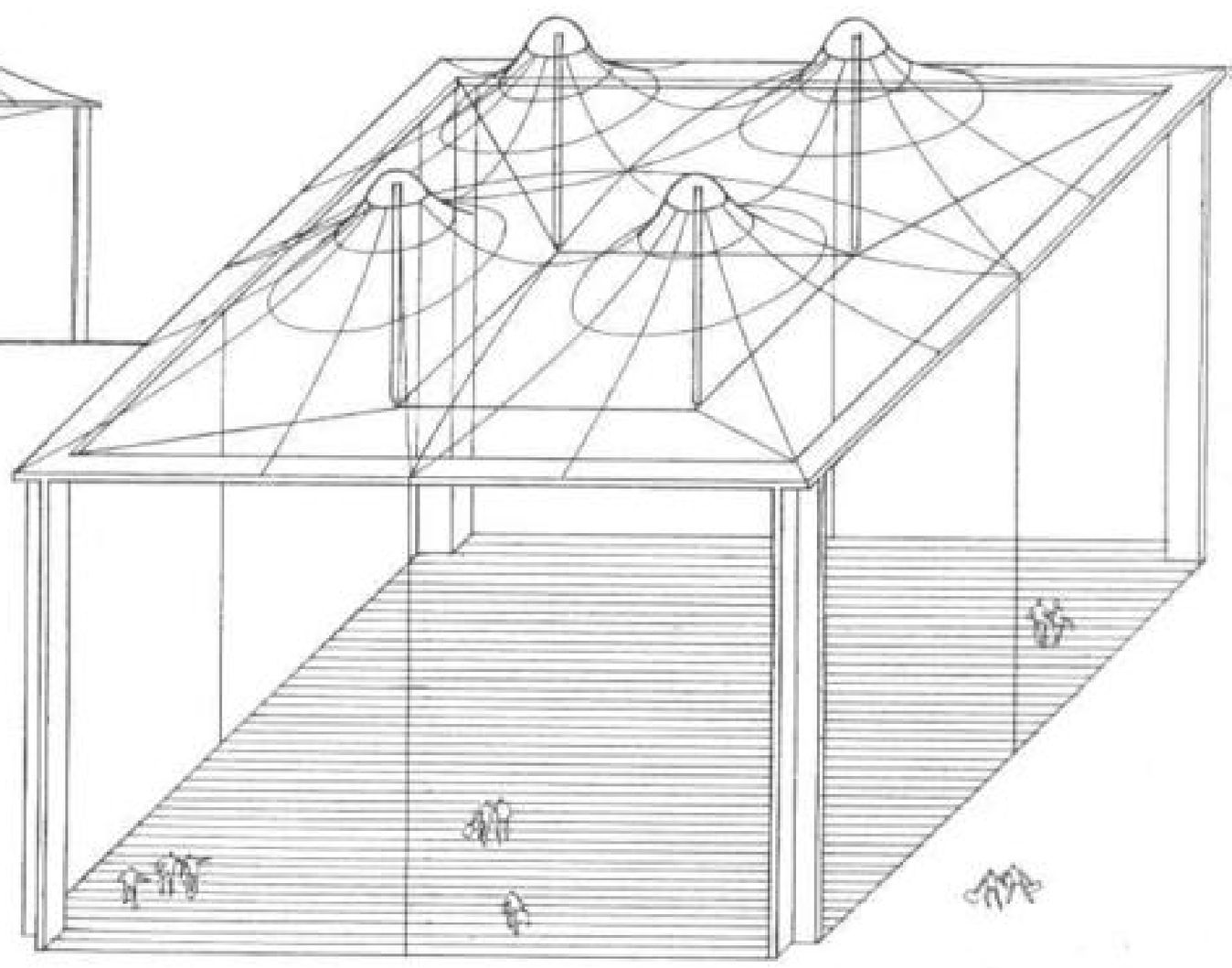
## Sistemas en forma de tienda para cubrir construcciones macizas rectilíneas

Estructuras atirantadas para apoyar los puntos altos

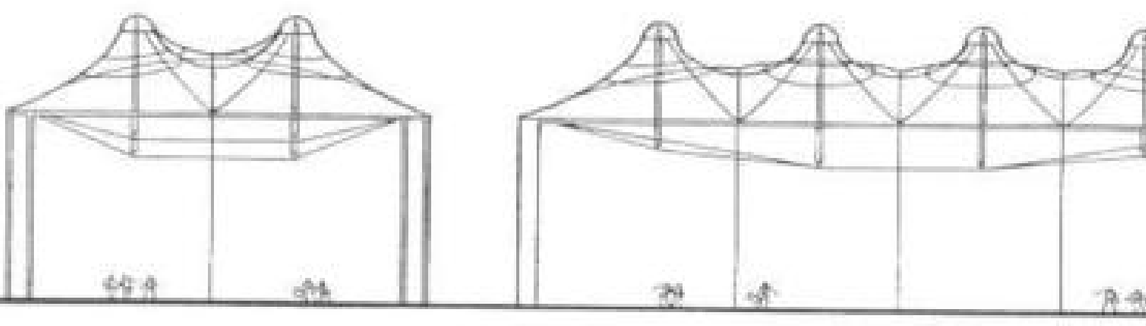


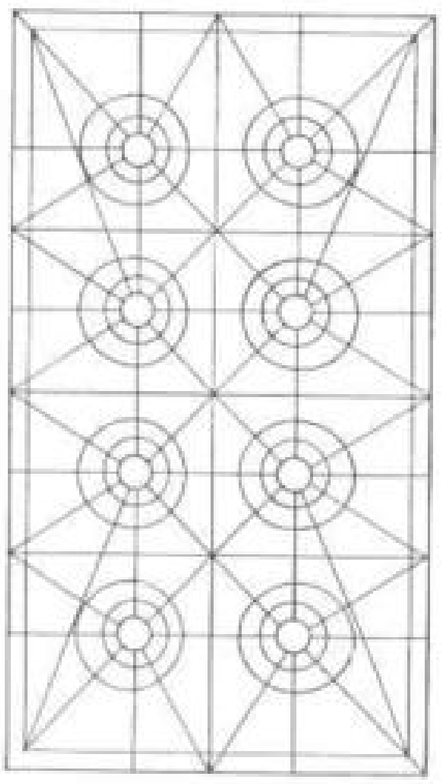


Puntos altos dispuestos en el centro de una planta cuadrada

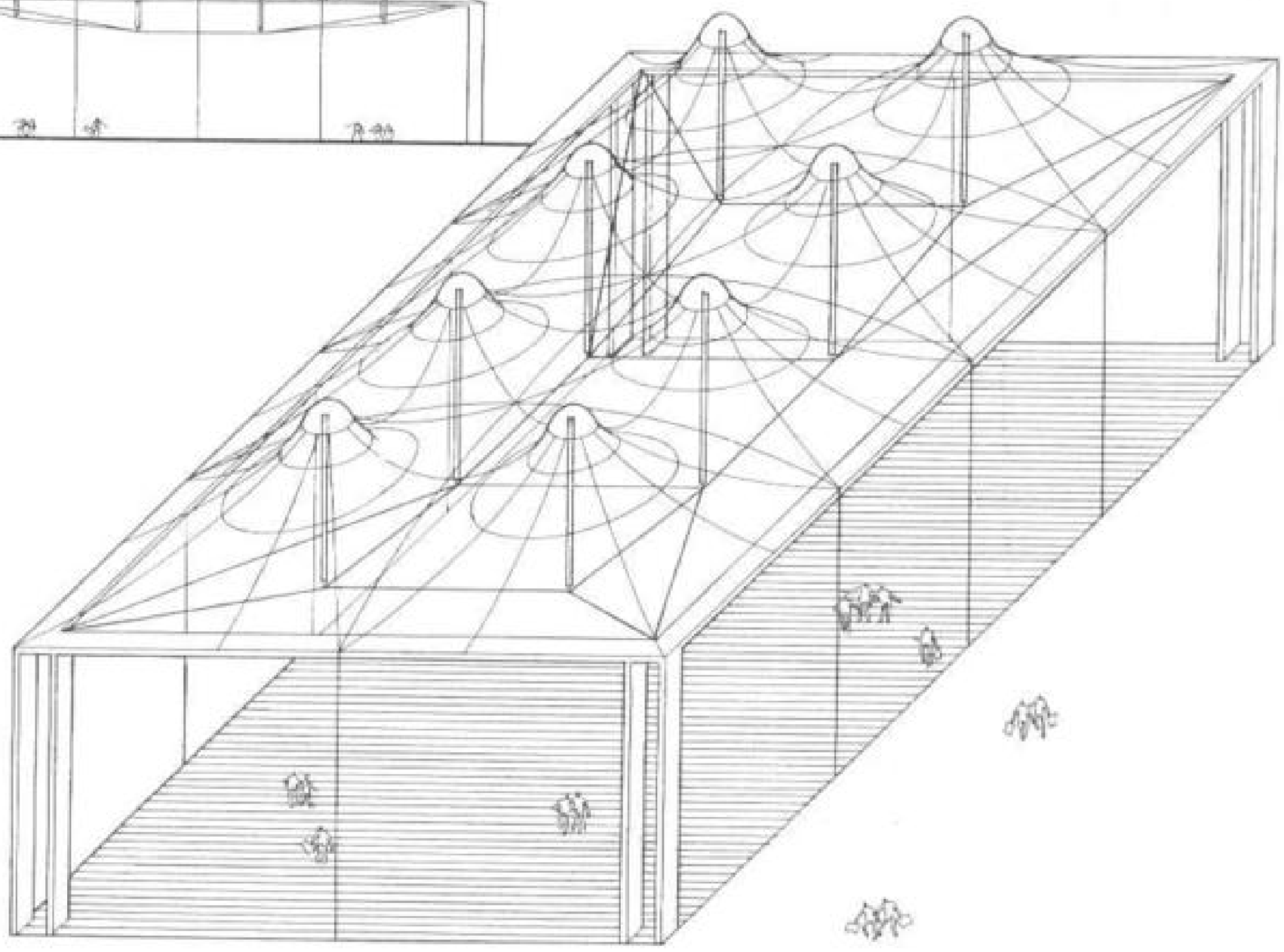


Pontos elevados posicionados centralmente sobre planta de base quadrada





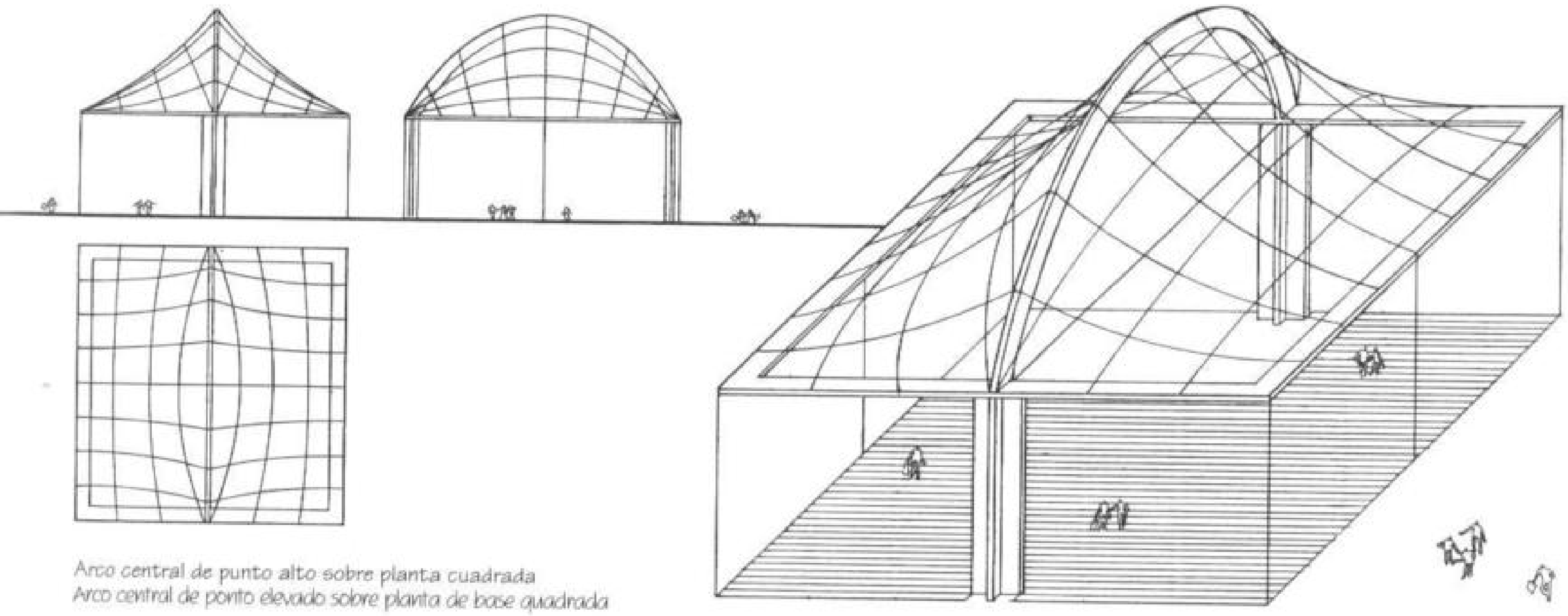
Alineación de puntos altos encima de una planta rectangular



Disposição alinhada de pontos elevados sobre planta de base retangular

## Sistemas de tendas para vãos retilíneos em subestruturas sólidas

Construções de pontos elevados suportadas por cabos



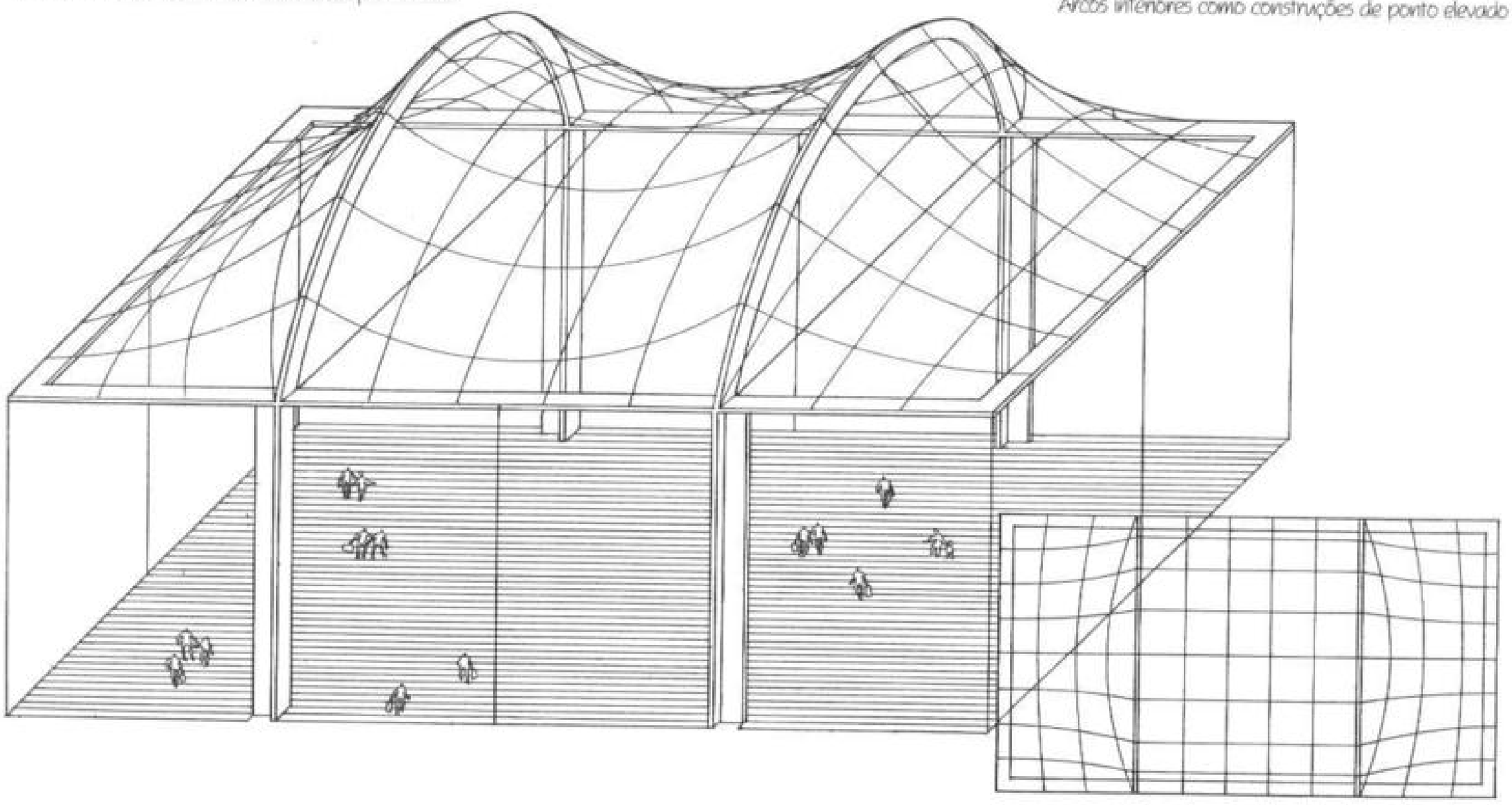
Arco central de punto alto sobre planta cuadrada
Arco central de ponto elevado sobre planta de base quadrada

## Sistemas en forma de tienda para cubrir construcciones macizas rectilíneas

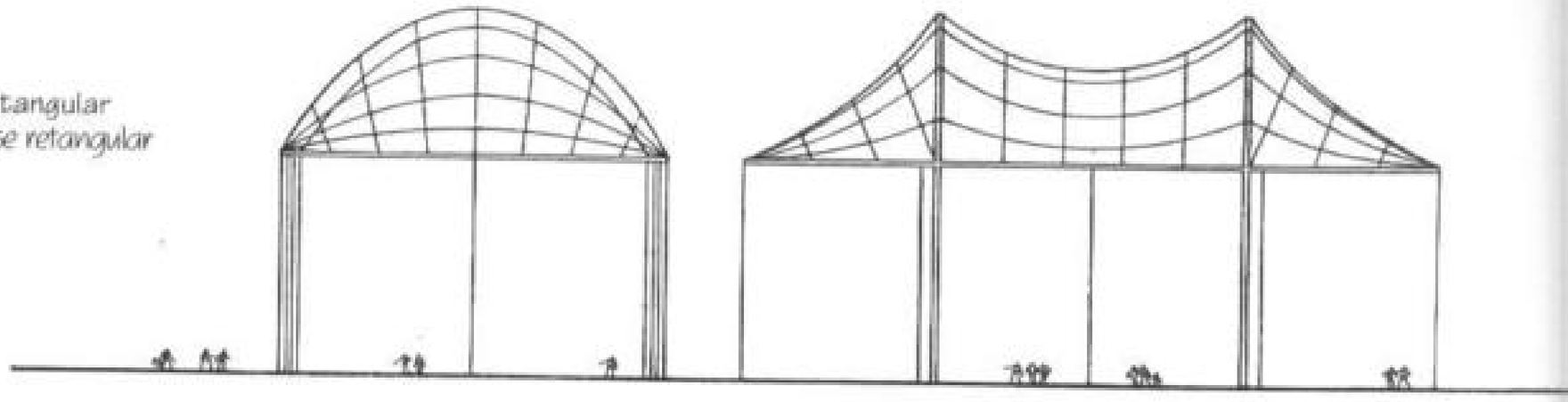
Arcos interiores como estructura de punto alto

## Sistemas de tenda para vãos retilíneos em subestruturas sólidas

Arcos interiores como construções de ponto elevado

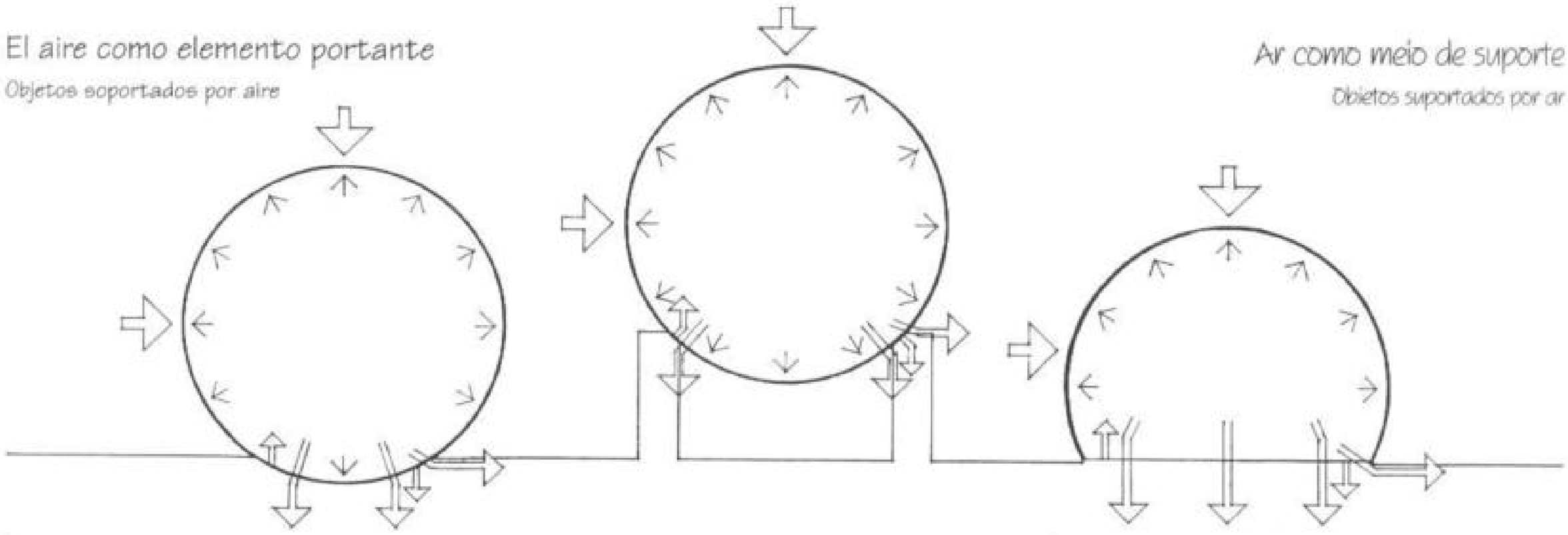


Arcos paralelos de puntos altos sobre planta rectangular
Arcos paralelos de ponto elevado sobre planta de base retangular



## El aire como elemento portante

*Objetos soportados por aire*



EL VOLUMEN DE AIRE encerrado en una envolvente flexible y resistente a tracciones (=membrana) y a mayor presión que el aire exterior (=sobrepresión) se comporta como un SÓLIDO homogéneo y elástico. Como tal, el aire puede absorber, transmitir y trasladar fuerzas exteriores: ESTRUCTURAS NEUMÁTICAS.

Estas propiedades mecánicas del aire descansan en tres condiciones:

1. El material de la envolvente ha de poder resistir tracciones y ser estanco al aire.
2. La presión interior estabilizadora del aire ha de ser permanente y superior a la suma de todas las fuerzas exteriores que actúen sobre la membrana.
3. Cualquier modificación de la forma de la envolvente (manteniendo la cantidad de superficie) conduce a una reducción del volumen encerrado.

Resumiendo: las estructuras mecánicas de aire basan su resistencia en la forma neumática frente a las fuerzas externas = SISTEMAS DE FORMA-ACTIVA

## Ar como meio de suporte

*Objetos suportados por ar*

O VOLUME DE AR fechado em um invólucro flexível (=membrana) de resistência a tensão é pressurizado contra o ar do ambiente (=sobrepressão) comporta-se como um SÓLIDO homogêneo elástico. Como tal, o volume de ar pode receber, transferir e descarregar forças externas: ESTRUTURAS PNEUMÁTICAS.

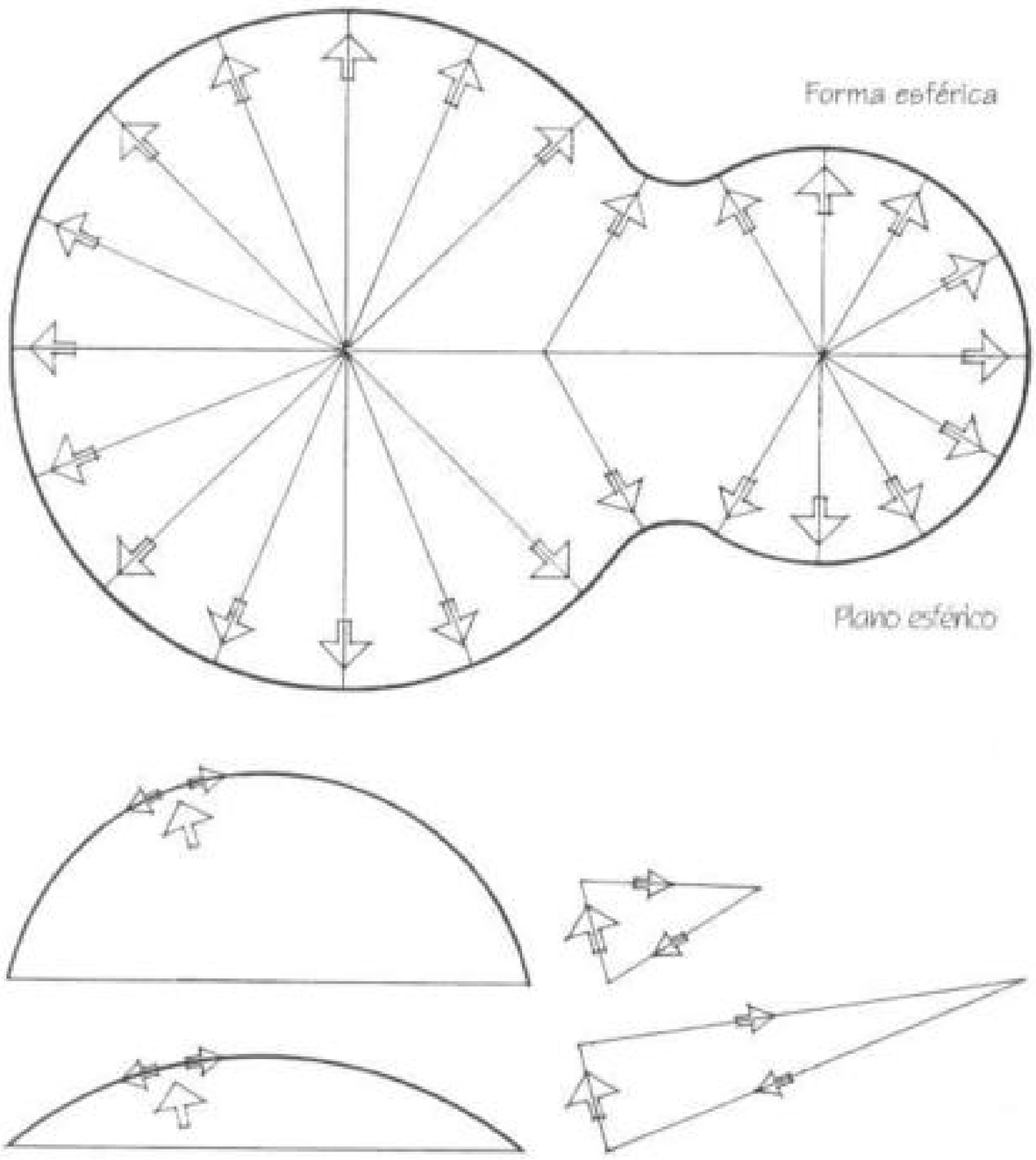
Esta qualidade mecânica do ar agindo como um sólido baseia-se em três condições:

1. O tecido de revestimento deve ser resistente à tensão e impenetrável pelo ar.
2. A pressão estabilizadora do ar da parte de dentro deve ser permanente e sempre mais alta que todas as forças que agem sobre a membrana.
3. Cada deformação da forma do invólucro (sem modificação de tamanho da área) deve levar a uma redução definida do volume contido.

Resumindo: as estruturas mecânicas de ar baseiam-se na resistência da forma pneumática contra forças externas = SISTEMA DE FORMA-ATIVA.

## Forma básica de la membrana

## Forma básica da membrana



Forma esférica

Plano esférico

Las fuerzas de un volumen cerrado de aire sometido a presión son de igual magnitud en todas las direcciones. Actúan de manera centrífuga en dirección hacia la envolvente, es decir, en la dirección del posible equilibrio de cargas.
La forma de la membrana resultante de este estado de cargas es la geometría básica de las estructuras neumáticas: SUPERFICIES ESFÉRICAS.
Con una superficie esférica se consigue envolver el máximo volumen con una superficie mínima. De esta manera se obtiene una envolvente que, en caso de cambiar de forma, apenas afecta al volumen contenido, es decir, tiene una resistencia óptima a las deformaciones.
La membrana uniforme, homogénea y esférica reacciona a cualquier sobrepresión interior con tensiones a tracción idénticas en todos los puntos.

As forças de um volume de ar, sendo fechadas no interior e pressurizadas, são iguais em todo o volume. Elas agem centrifugamente na direção da membrana anexa, isso é, em direção à possível equalização de pressão.
A forma da membrana resultante dessa constelação de forças é a geometria básica de modelos de estruturas pneumáticas – SUPERFÍCIES ESFÉRICAS.
A superfície esférica contém um volume espacial com um mínimo de superfície. Assim, configura-se um invólucro, cujo volume pode ser diminuído ao máximo em cada deformação, isto é, apresenta resistência ótima à deformação.
Sob pressão interna a membrana esférica, uniforme e homogênea, desenvolve esforços de tensão iguais em cada ponto.



Al aumentar la curvatura de la superficie esférica (es decir, al disminuir su radio) manteniendo la misma presión interior, se reducen las tensiones en la membrana. La eficacia de la membrana para absorber esfuerzos de presión interior aumenta. Con ello aumenta también la capacidad para resistir una deformación en la geometría de la envolvente.

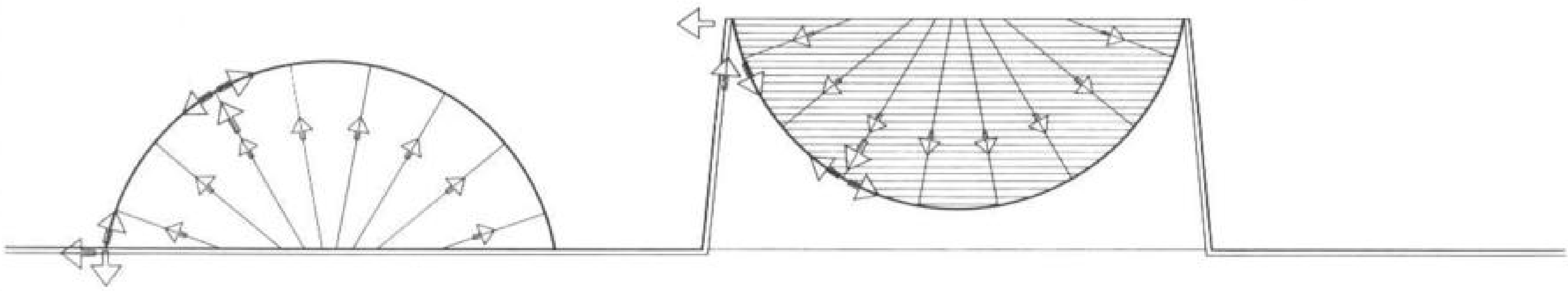
Com o aumento da curvatura do plano esférico (=diminuição do raio) e a pressão interna permanecendo constante, a tensão na membrana diminuirá, a capacidade da membrana de receber forças compressoras internas aumentará. Por isso, a capacidade de resistência contra deformação da geometria do invólucro também aumentará.

## Mecanismo portante de las estructuras neumáticas: comparación con la membrana envolvente

*Sistemas estructurales soportados por aire*

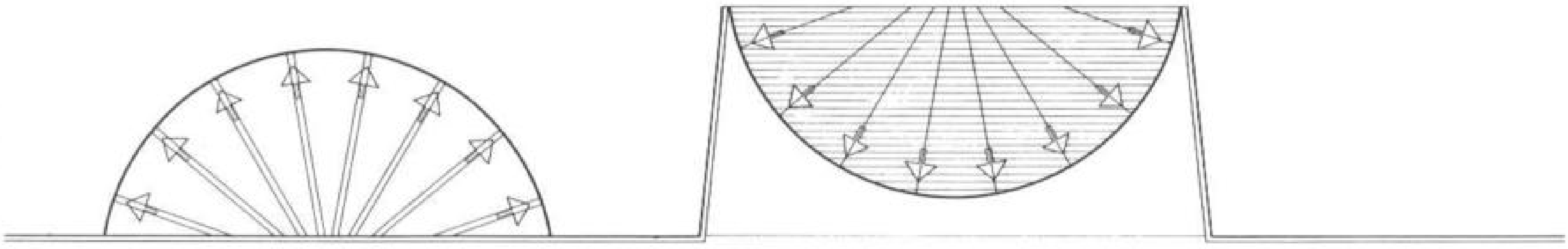
## Mecanismo de estrutura pneumática: comparação com depósito em membrana

*Sistemas estruturais suportados por ar*



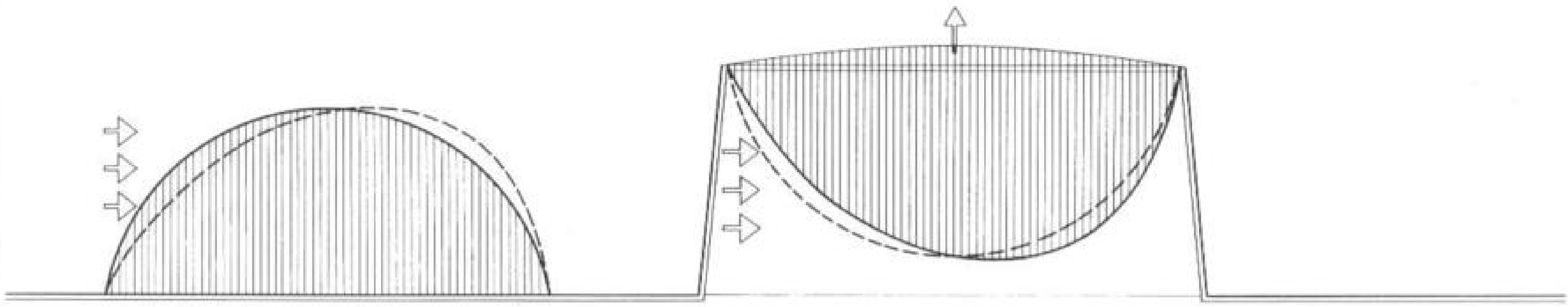
Al aumentar la presión interior del aire, no sólo se equilibra el peso propio de la membrana envolvente, sino que ésta queda tan pretensada que las cargas asimétricas no la deforman. Por lo tanto, la transmisión de cargas a través de la membrana afecta sólo a las fuerzas resultantes orientadas hacia el exterior, de manera similar a un contenedor que sólo está sometido a la presión de su contenido (líquido o áridos).

Através do aumento da pressão do ar interno, não somente o peso próprio do envoltório espacial é equilibrado mas também a membrana é submetida a um esforço em um ponto em que não pode ser deformada por cargas assimétricas. A redistribuição das forças pela membrana, por conseqüência, envolve apenas resultantes centrífugas, analogamente à ação que sofre um reservatório, que está exposto apenas à pressão do seu conteúdo (líquidos, sólidos granulados).



La presión interior funciona como un soporte continuo y flexible de la membrana en todos los puntos. De manera parecida, la forma de un contenedor se estabiliza a partir de la presión centrífuga de su contenido. La ventaja del soporte neumático es que no condiciona la libertad de uso del espacio.

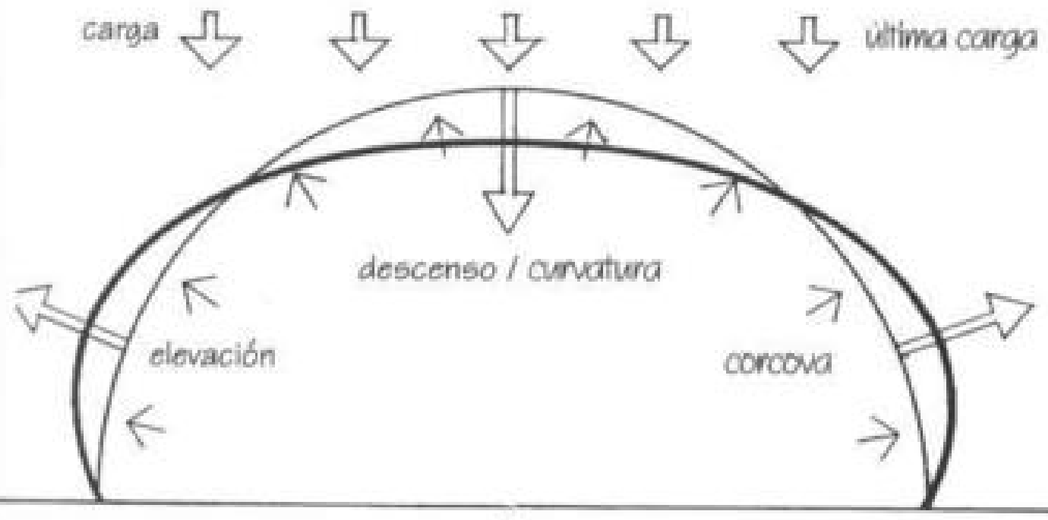
A pressão interna funciona como um apoio flexível contínuo da membrana em qualquer ponto. Analogamente, a forma de uma membrana de reservatório é estabilizada pela pressão centrífuga do seu conteúdo. A vantagem do suporte pneumático é que ele não impede o uso livre do espaço.



La resistencia frente a la deformación queda garantizada por la estanquidad de la membrana y su resistencia a las tracciones. La forma portante sólo se modifica si se reduce el volumen o si aumenta la superficie envolvente, en oposición al contenedor suspendido cuyo contenido puede desplazarse hacia el lado abierto (arriba) y acepta deformaciones.

A resistência às deformações acontece graças ao fechamento hermético do ar e à força tensora da membrana. A forma estrutural pode deformar-se apenas com a perda de volume ou aumento da superfície de forma contrária à membrana pendurada de reservatório, na qual o conteúdo pode escapar pela parte aberta (superior), permitindo assim a deformação.

## Mecanismo de las figuras neumáticas frente a las deformaciones

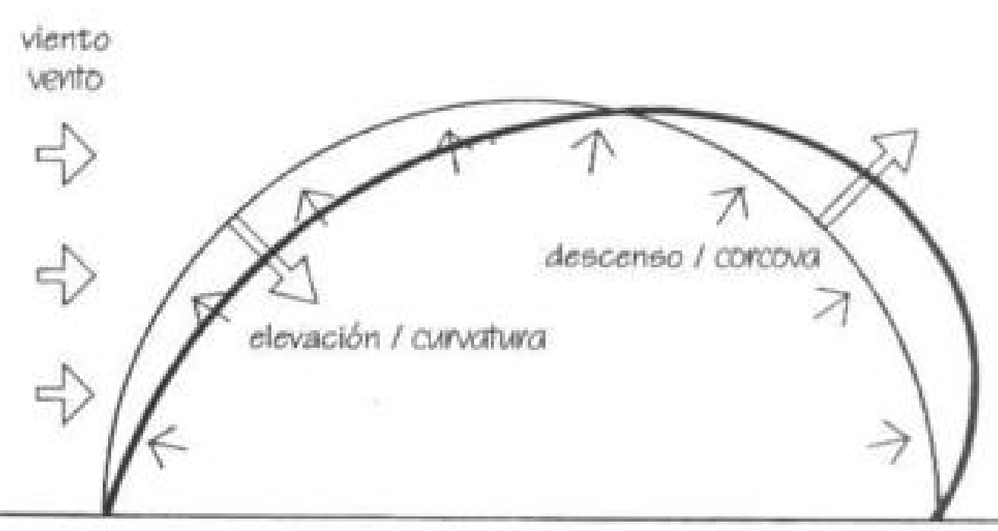



carga y deformación

Dos mecanismos resistentes frente a las deformaciones

1. Efecto contrapuesto de las fuerzas de presión interior en la envolvente:
   Mayor efecto al disminuir la curvatura: elevación de la envolvente.
   Menor efecto al aumentar la curvatura: descenso de la envolvente.
2. Aumento de las tensiones en la membrana al crecer su superficie debido al desplazamiento del volumen y, en consecuencia, movilización de esfuerzos para recuperar la forma neumática inicial.

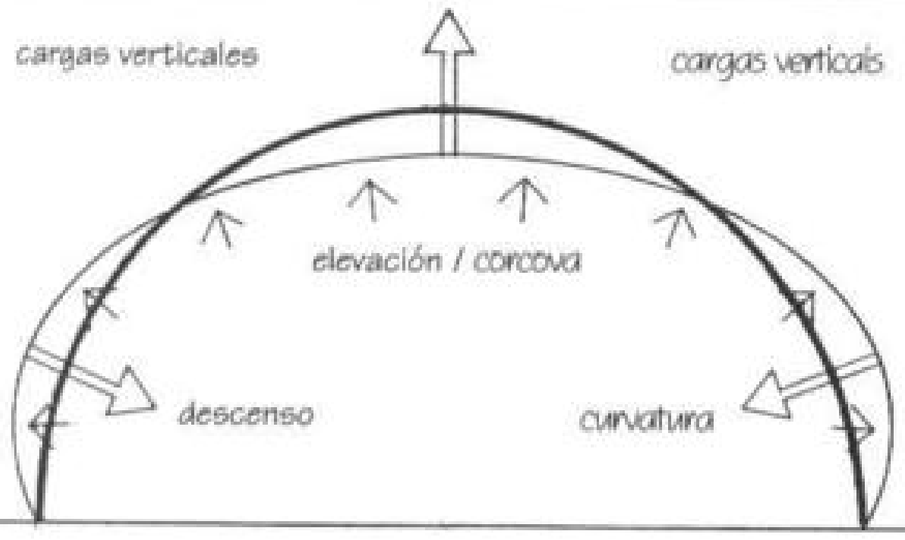
## Mecânica de figuras pneumáticas contra deformações



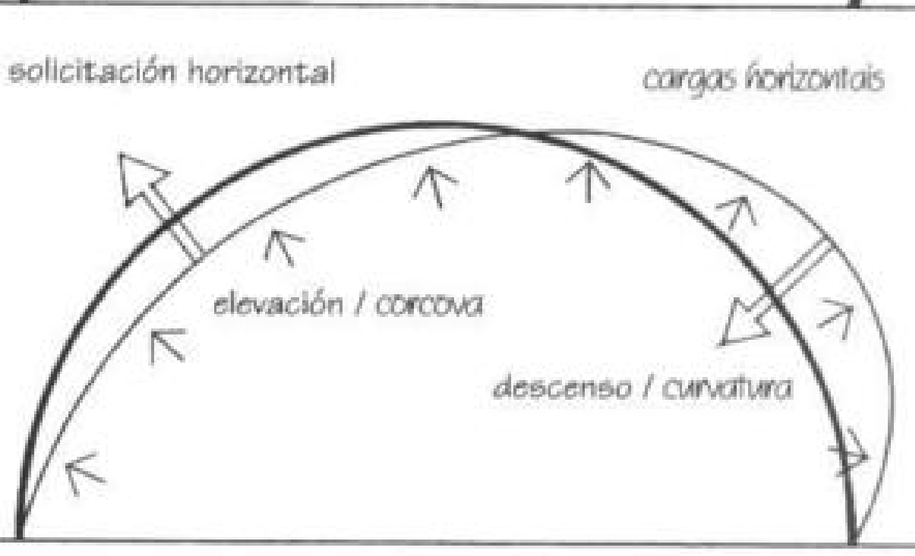

carga e desvio

Dois mecanismos de resistência contra a deformação

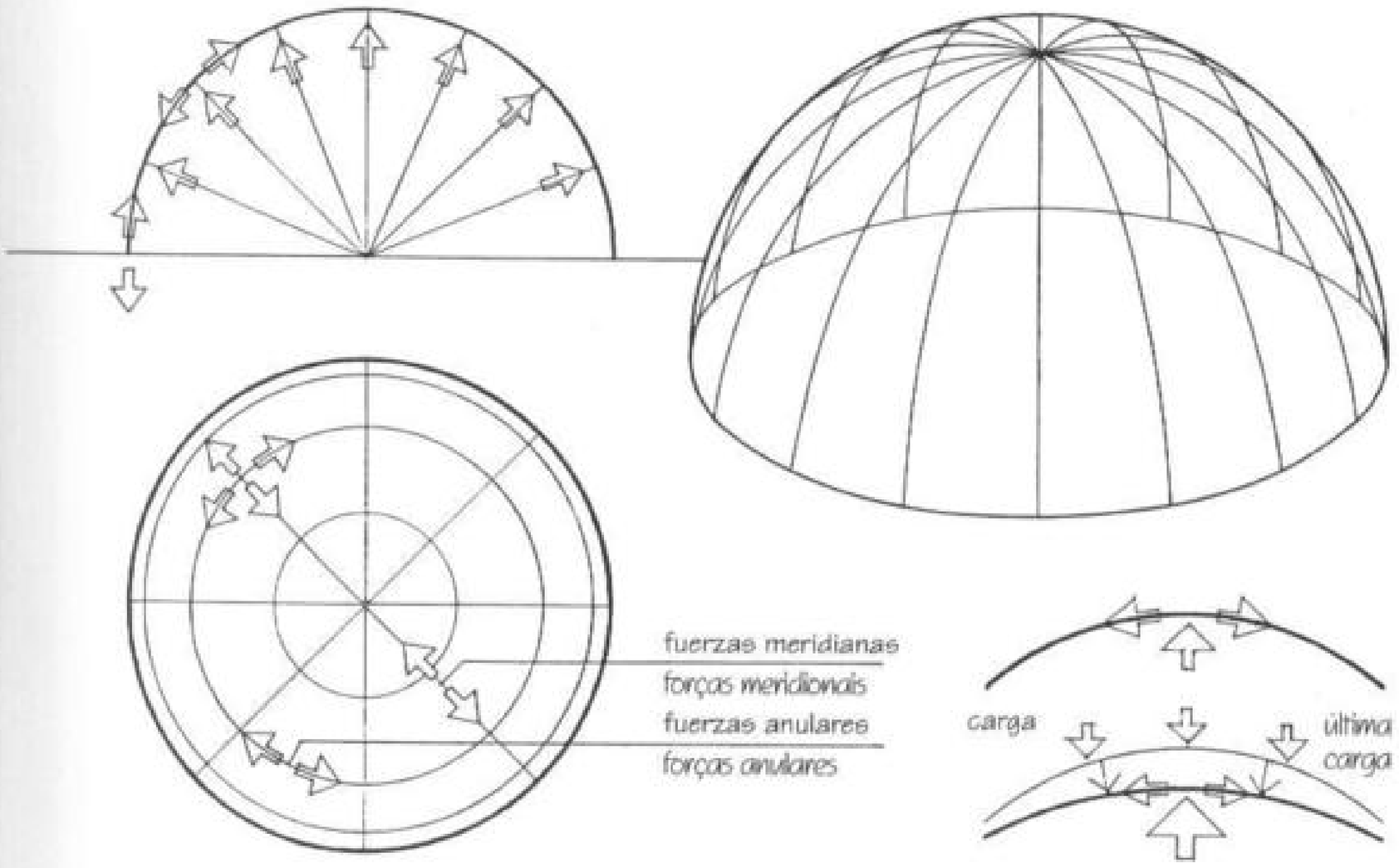
1. Efeito contra ação de forças internas compressoras no invólucro:
   Aumento do efeito ao retroceder a curvatura = arqueamento do invólucro.
   Diminuição do efeito ao aumentar a curvatura = rebaixamento do invólucro.
2. Aumento total da tensão da membrana em toda a extensão da superfície da membrana por causa do volume de deslocamento e conseqüentemente mobilização de forças para recuperar a forma pneumática original.




reacción de la presión interior
reação da pressão interna




## Acción conjunta del aire bajo presión y la membrana envolvente
## Coação do volume de ar pressurizado e membrana do invólucro




La membrana envolvente (peso propio) se aguanta y conserva su forma gracias a la diferencia entre la presión del aire en el interior y el exterior:
–SISTEMAS DE ESTRUCTURAS SOPORTADOS POR AIRE–

Si aumentan las acciones, la envolvente empieza a ceder provocando que el aire interior se comprima y se desplace. Con ello aumenta la diferencia entre interior y exterior, y se modifica la forma de la envolvente (curvatura).

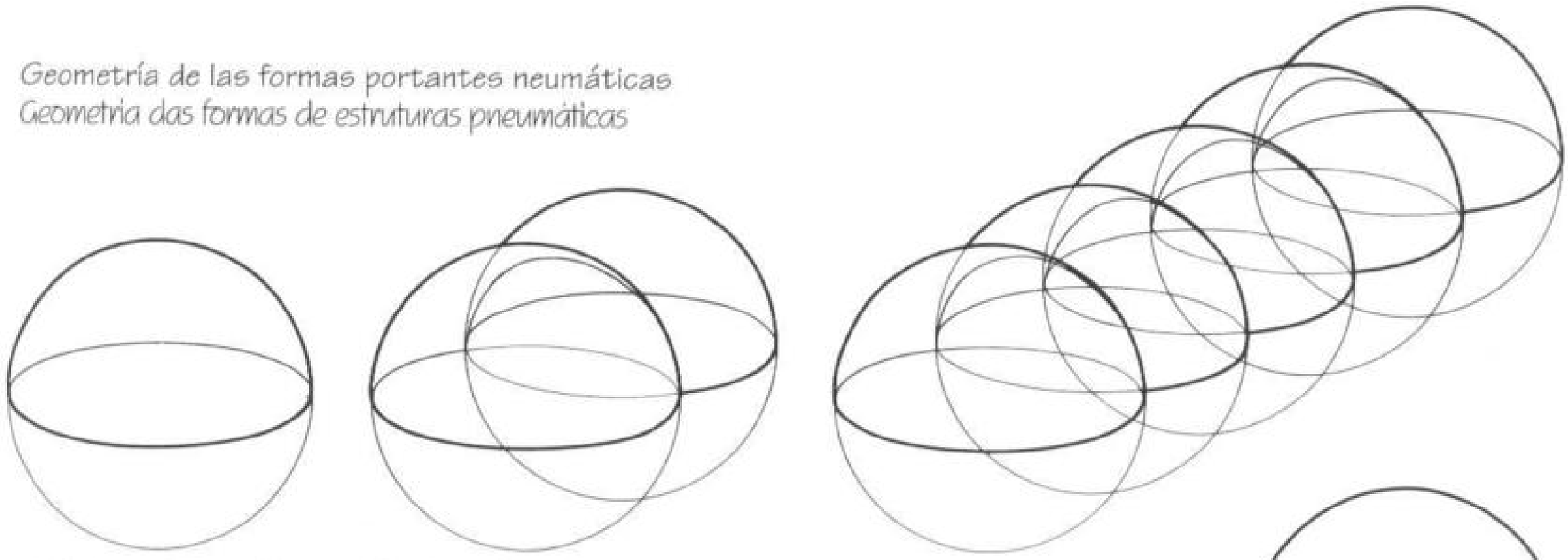
Ambos procesos refuerzan la resistencia frente a las deformaciones. Es decir, sólo después de experimentar una pequeña deformación, se mobilizan las fuerzas para alcanzar el estado de equilibrio.

O invólucro de membrana (peso próprio) é carregado e estabilizado pela diferença da pressão do ar entre o interior e o exterior:
–SISTEMAS ESTRUTURAIS SUPORTADOS POR AR–

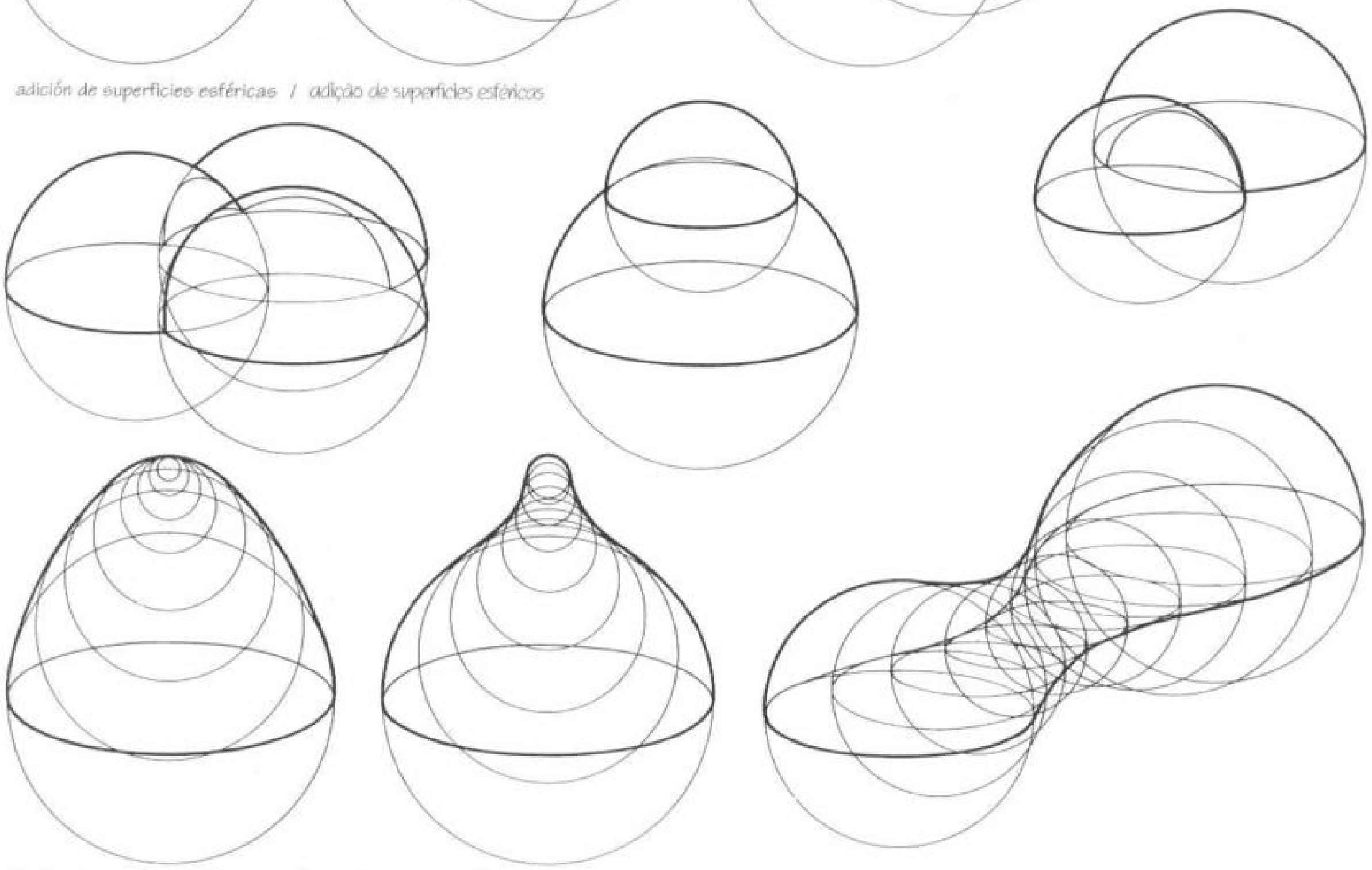
Sob cargas adicionais, primeiramente o invólucro cede e faz com que o volume de ar fechado diminua e desloque-se, portanto a diferença de pressão direcionada ao exterior aumenta, enquanto a forma (curvatura) do invólucro começa a mudar sua figura.

Ambas as ações intensificam a resistência contra deformações, isto quer dizer: somente através do desvio em processo as forças são mobilizadas a fim de alcançar um estado de equilíbrio.

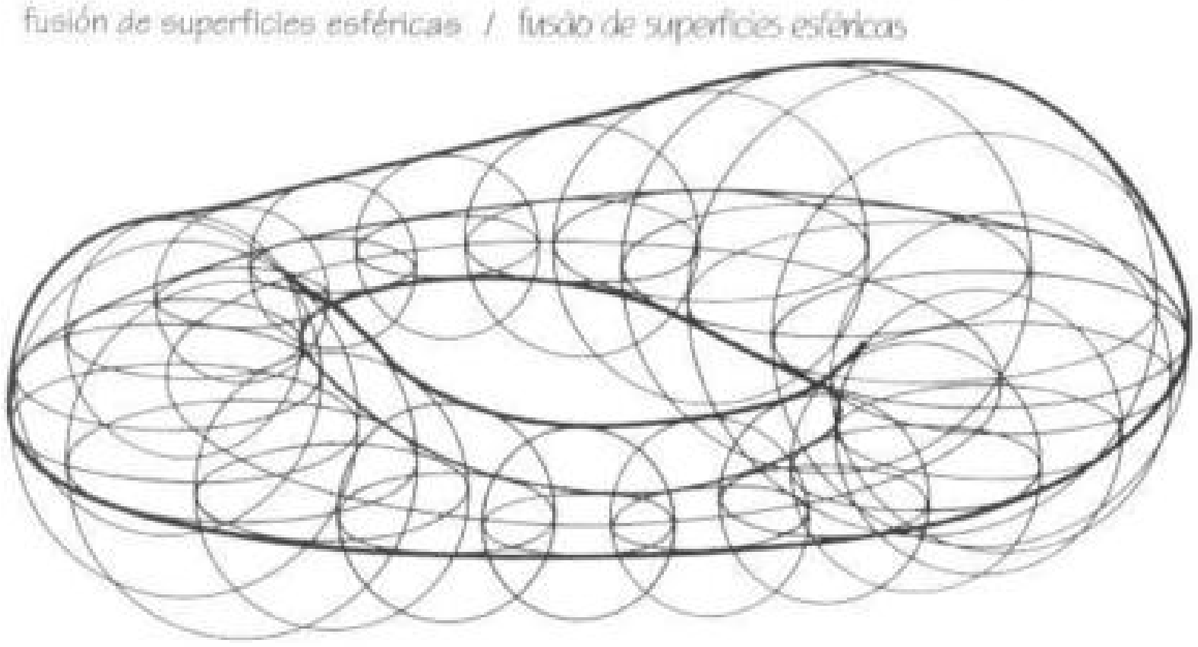
## Geometría de las formas portantes neumáticas
## Geometria das formas de estruturas pneumáticas



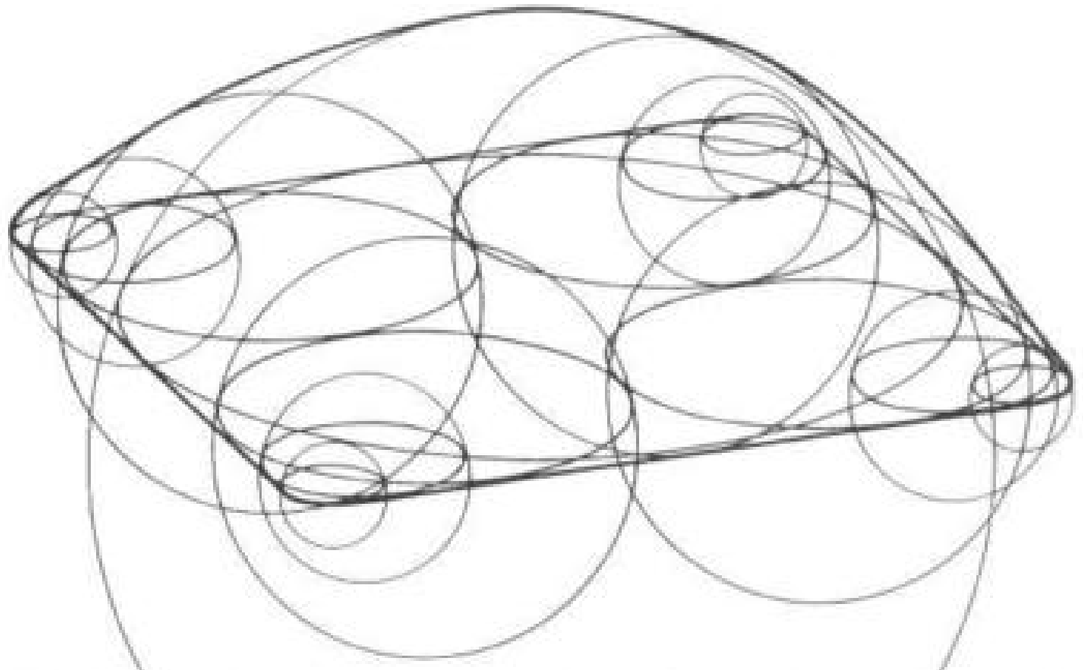
adición de superficies esféricas / adição de superfícies esféricas



fusión de superficies esféricas / fusão de superfícies esféricas



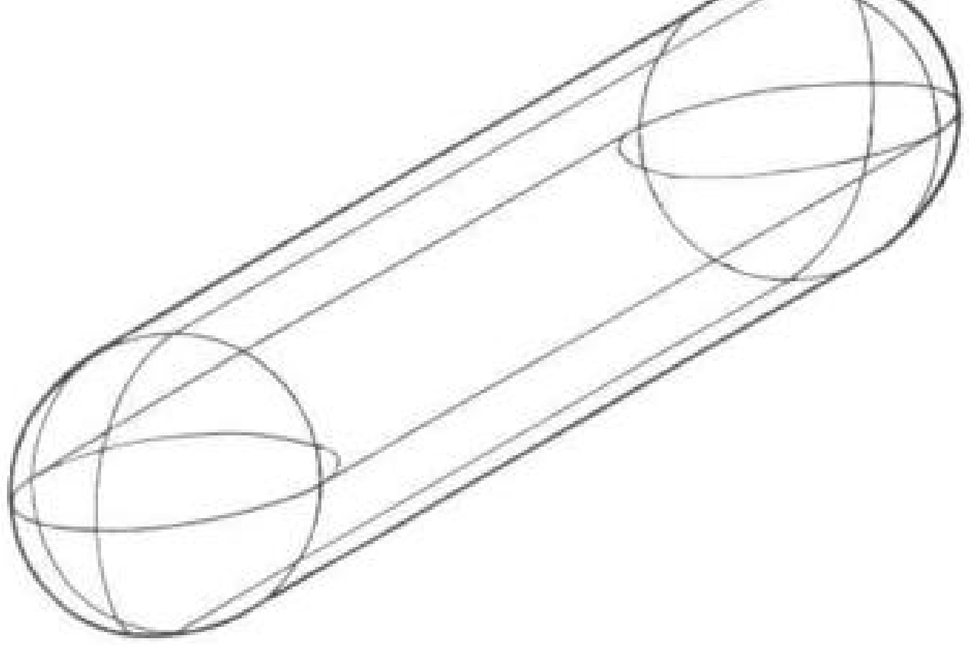
La forma de base de las estructuras neumáticas es la esfera en la que, bajo una presión interior uniforme, las tensiones en la membrana envolvente son idénticas en todos los puntos. Mediante adición o fusión de superficies esféricas, se pueden obtener otras formas portantes.



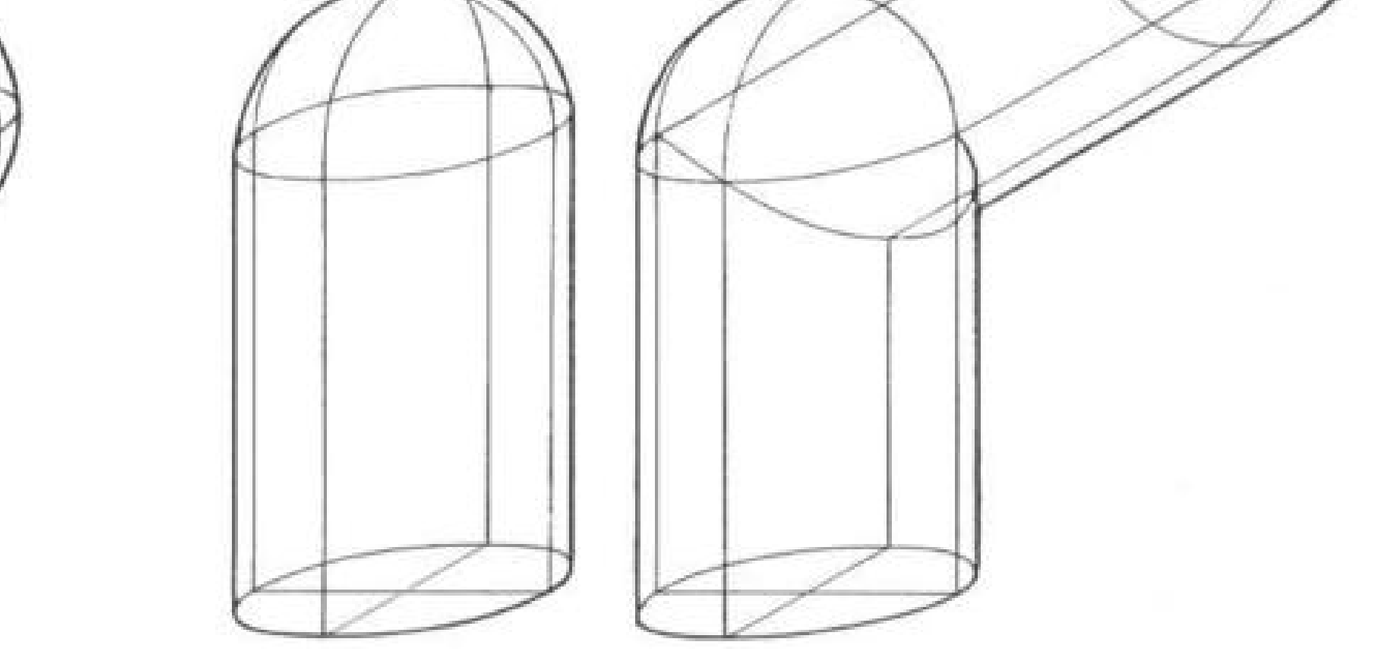
A forma básica de todas as estruturas pneumáticas é a esfera. Por essa forma, sob uma pressão uniforme dentro da membrana, os esforços são iguais em qualquer ponto. Outras formas estruturais podem ser desenvolvidas pela adição ou fusão de superfícies esféricas.

## Formas prototípicas de los sistemas portantes neumáticos

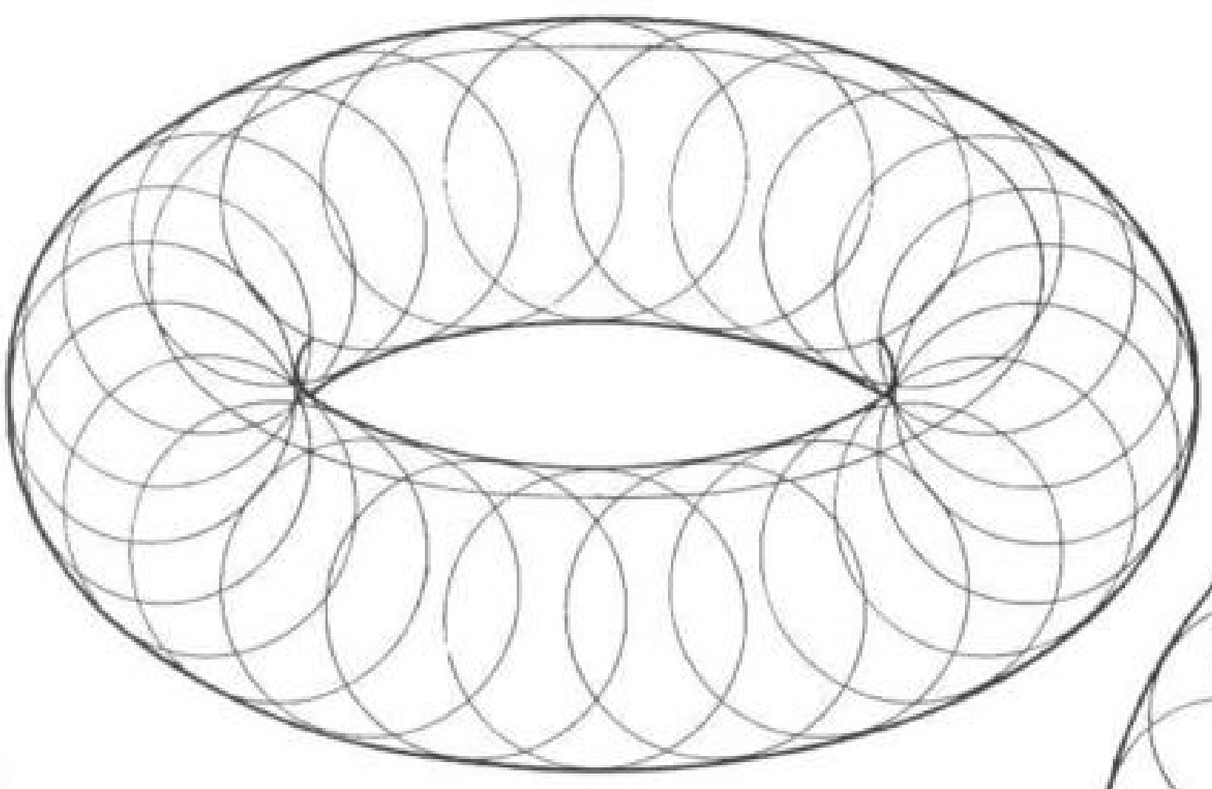
superficies esféricas con superficies cilíndricas



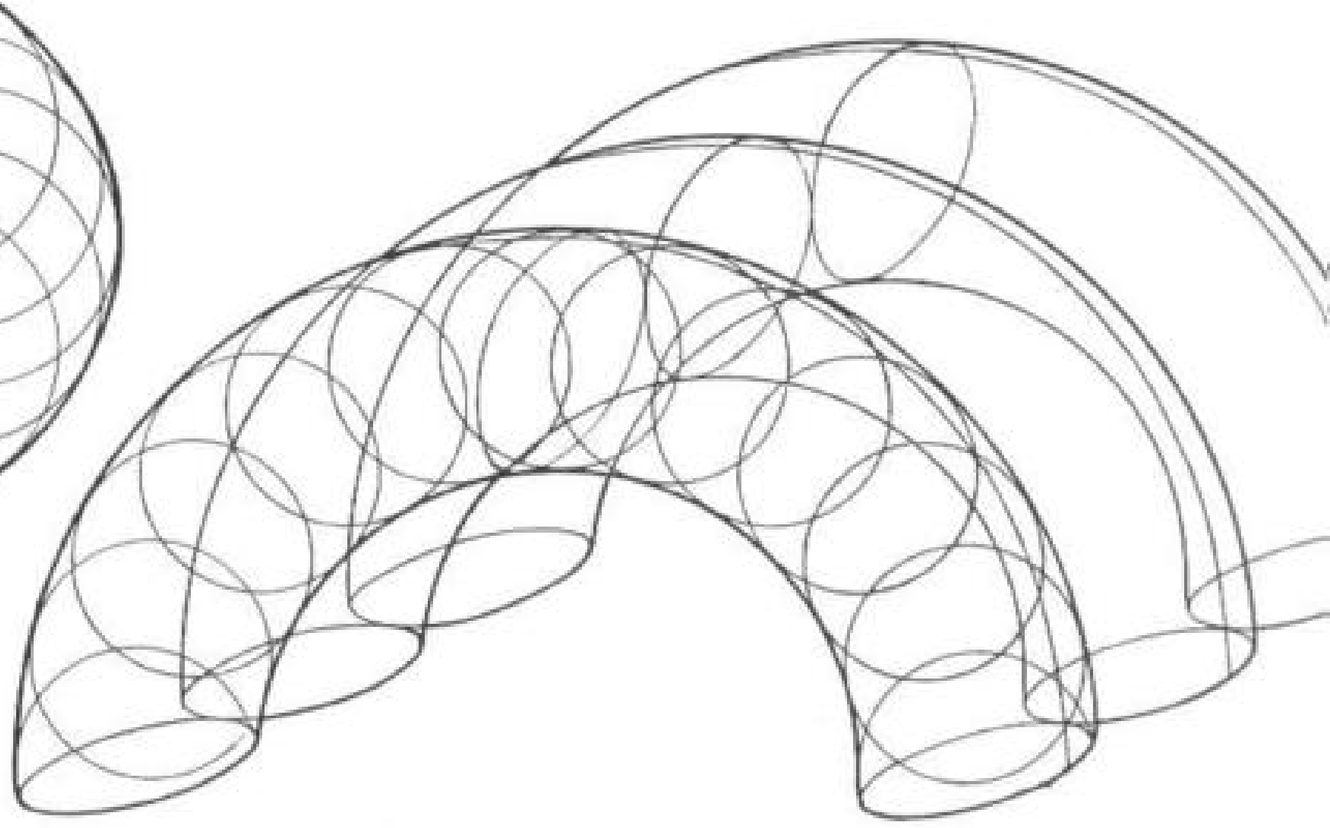
superficies esféricas e cilíndricas



superficies anulares (toros)



superficies toroidais

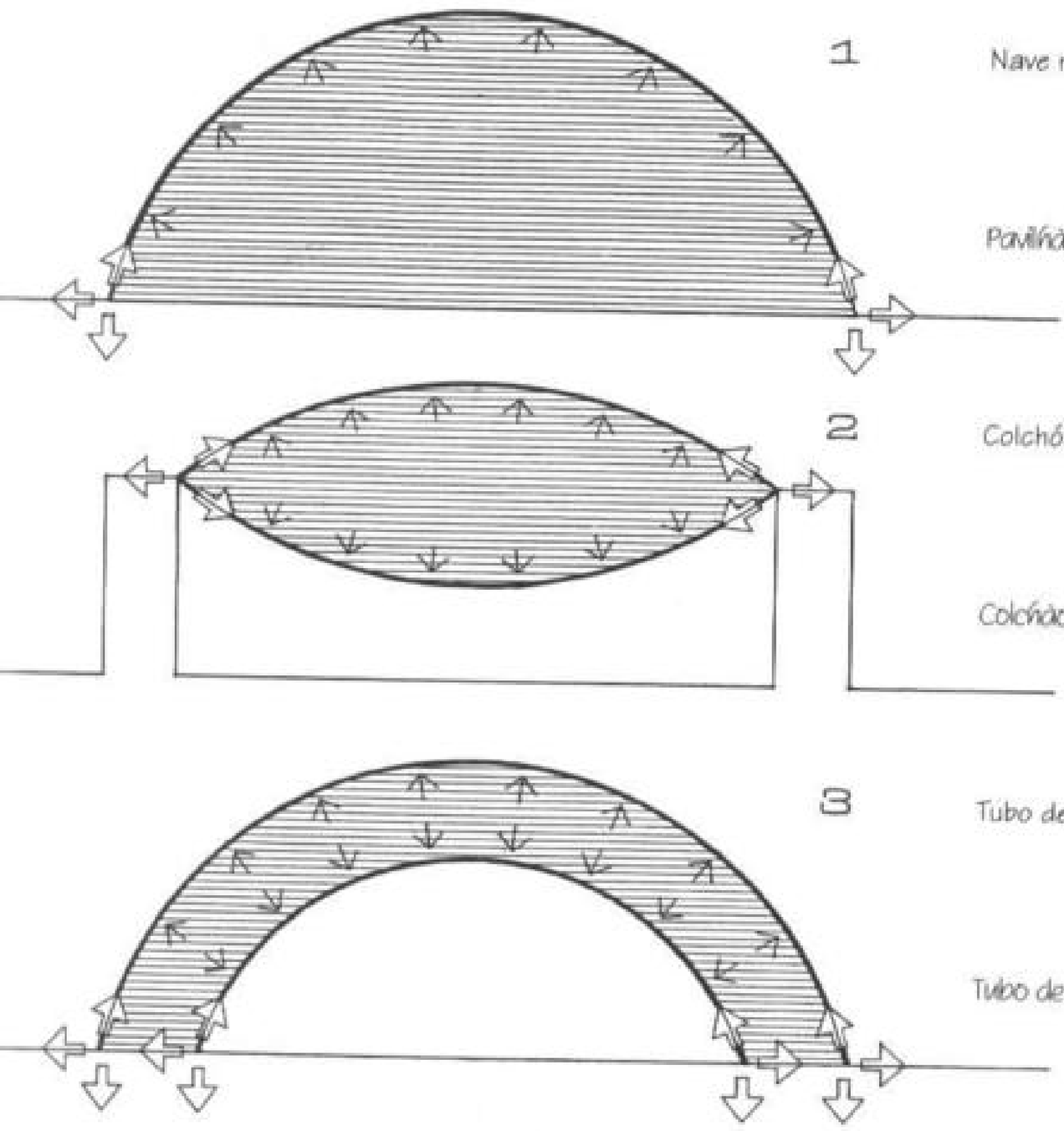


Dado que una superficie esférica, al igual que su adición o fusión, presenta inconvenientes en cuanto a construcción y diseño en planta se refiere, las formas más habituales de las estructuras neumáticas (por motivos de simplificación constructiva y funcionalidad, y no para mejorar la mecánica estructural) son las combinaciones entre superficies esféricas y cilíndricas, así como superficies en forma de toro.

Já que a superfície esférica assim como sua de adição ou fusão apresenta inconvenientes em relação à produção e configuração da planta, por razões de simplificação ( embora não de melhora de eficácia mecânica) preferivelmente são aplicados como formas padrão de estruturas pneumáticas, a combinação de superfícies esféricas com cilíndricas e também com superfícies toroidais.

## Sistemas básicos de las estructuras neumáticas

*Sistemas a sobrepresión*




1 Nave neumática / sistemas de interior bajo presión
La sobrepresión del aire en el espacio interior soporta la envolvente y estabiliza su forma frente a las fuerzas actuantes. El espacio con aire bajo presión es, al mismo tiempo, el "espacio útil" disponible. La membrana envolvente transmite los esfuerzos directamente al perímetro.

2 Colchón de aire / sistema de doble membrana
La sobrepresión del aire en el colchón sólo sirve para estabilizar la membrana portante y, junto con la membrana superior, forma una cubierta. Para absorber los esfuerzos en los extremos de la membrana se necesita una estructura auxiliar de anclaje.

3 Tubo de aire / sistemas de envolventes lineales (sistemas de alta presión)
La sobrepresión estabiliza la forma del tubo para formar elementos portantes lineales que pueden cubrir un espacio de diferentes maneras. Los esfuerzos en la membrana, al igual que en el caso de la nave bajo presión, se transmiten directamente al perímetro.

## Excepción: sistemas por depresión

La práctica de hacer derivar los sistemas portantes por depresión a partir del principio mecánico de la sobrepresión del aire y considerarlos como un tipo estructural independiente no es correcta. Pues, en este caso, el POTENCIAL PARA FORMAR SÓLIDOS del aire no se aprovecha, y ha de reemplazarse por complicadas estructuras de soporte adicionales.
Los sistemas por depresión no constituyen un tipo de estructura, sino que son CONSTRUCCIONES PARA ESTABILIZAR membranas portantes (suspendidas).

## Sistemas básicos de estruturas pneumáticas

*Sistemas de sobrepressão*

*Nave neumática / sistemas de interior bajo presión*
*La sobrepresión del aire en el espacio interior soporta la envolvente y estabiliza su forma frente a las fuerzas actuantes. El espacio con aire bajo presión es, al mismo tiempo, el "espacio útil" disponible. La membrana envolvente transmite los esfuerzos directamente al perímetro.*

*Pavilhão pneumático / Sistema de pressurização interna*
*O ar pressurizado num volume fechado internamente suporta o espaço envolvente estabilizando-o contra forças atuantes. O volume pressurizado é também espaço utilizado. A força da membrana é diretamente descarregada nas extremidades.*

*Colchón de aire / sistema de doble membrana*
*La sobrepresión del aire en el colchón sólo sirve para estabilizar la membrana portante y, junto con la membrana superior, forma una cubierta. Para absorber los esfuerzos en los extremos de la membrana se necesita una estructura auxiliar de anclaje.*

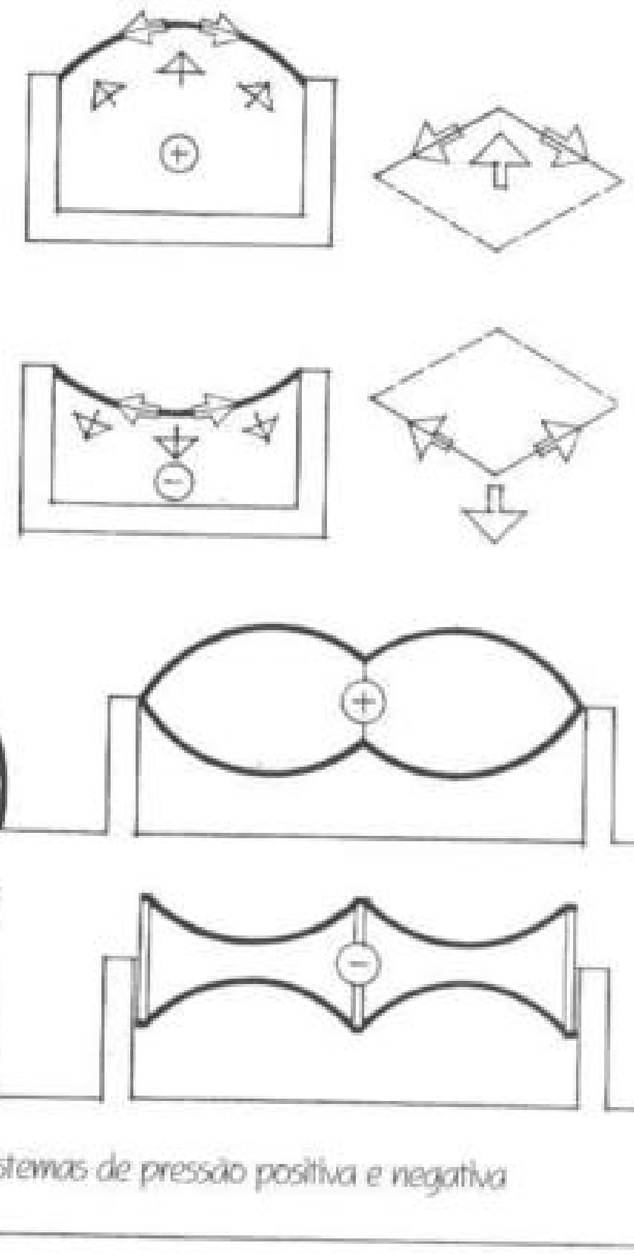
*Colchão de ar / Sistema de membrana dupla*
*O ar pressurizado dentro da almofada serve somente para estabilizar a membrana de suporte e junto com a membrana superior forma uma estrutura de cobertura. As forças nas bordas da membrana necessitam uma construção de contenção para recepcioná-las.*

*Tubo de aire / sistemas de envolventes lineales (sistemas de alta presión)*
*La sobrepresión estabiliza la forma del tubo para formar elementos portantes lineales que pueden cubrir un espacio de diferentes maneras. Los esfuerzos en la membrana, al igual que en el caso de la nave bajo presión, se transmiten directamente al perímetro.*

*Tubo de ar / Sistema de invólucro linear*
*O ar pressurizado estabiliza a forma de tubo e portanto forma membros de estruturas lineares para várias armações de espaços com vão. As forças da membrana serão descarregadas diretamente nas extremidades, assim como os pavilhões suportados por ar.*

## Exceção = sistemas baixo pressão

*Derivam do princípio mecânico da pressão de ar positivo e também de sistemas baseados na pressão negativa, portanto classificá-los como tipos separados de estruturas pneumáticas é infundado. Em função de que o POTENCIAL DE CRIAR SÓLIDOS do ar não pode ser ativado, são necessários, na maioria das vezes, trabalhosos suportes ou pórticos.*
*Sistemas de pressão negativa não são um tipo separado de estruturas, mas INSTRUMENTOS PARA ESTABILIZAÇÃO das membranas de suporte de carga (suspensa).*



*Comparación entre estructuras bajo presión y estructuras por depresión*

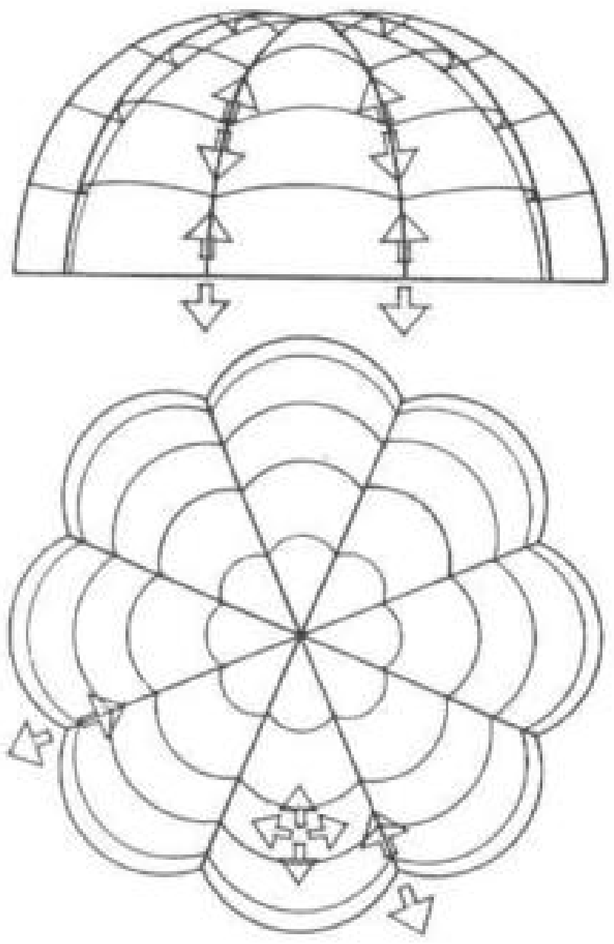
*Comparação de estruturas – sistemas de pressão positiva e negativa*

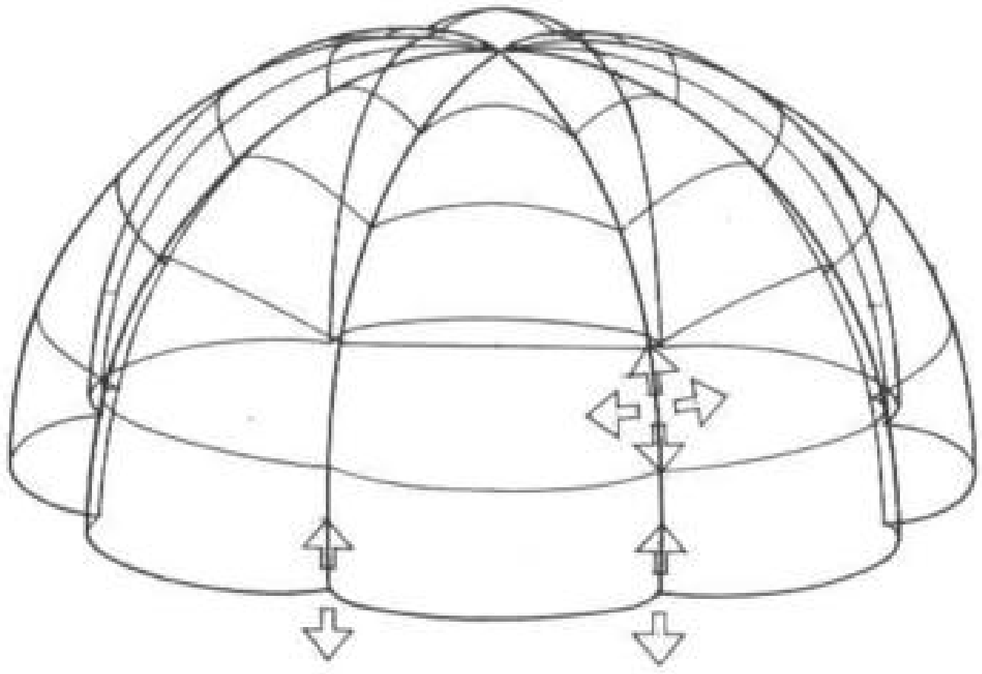
# Forma activa

## Sistemas de estructuras de 1

Sistemas de naves neumáticas (presión interior) en los que la transmisión de cargas se realiza, sobre todo, mediante cables

Sistema pneumático (interno) com transmissão principal de carga através de cabos



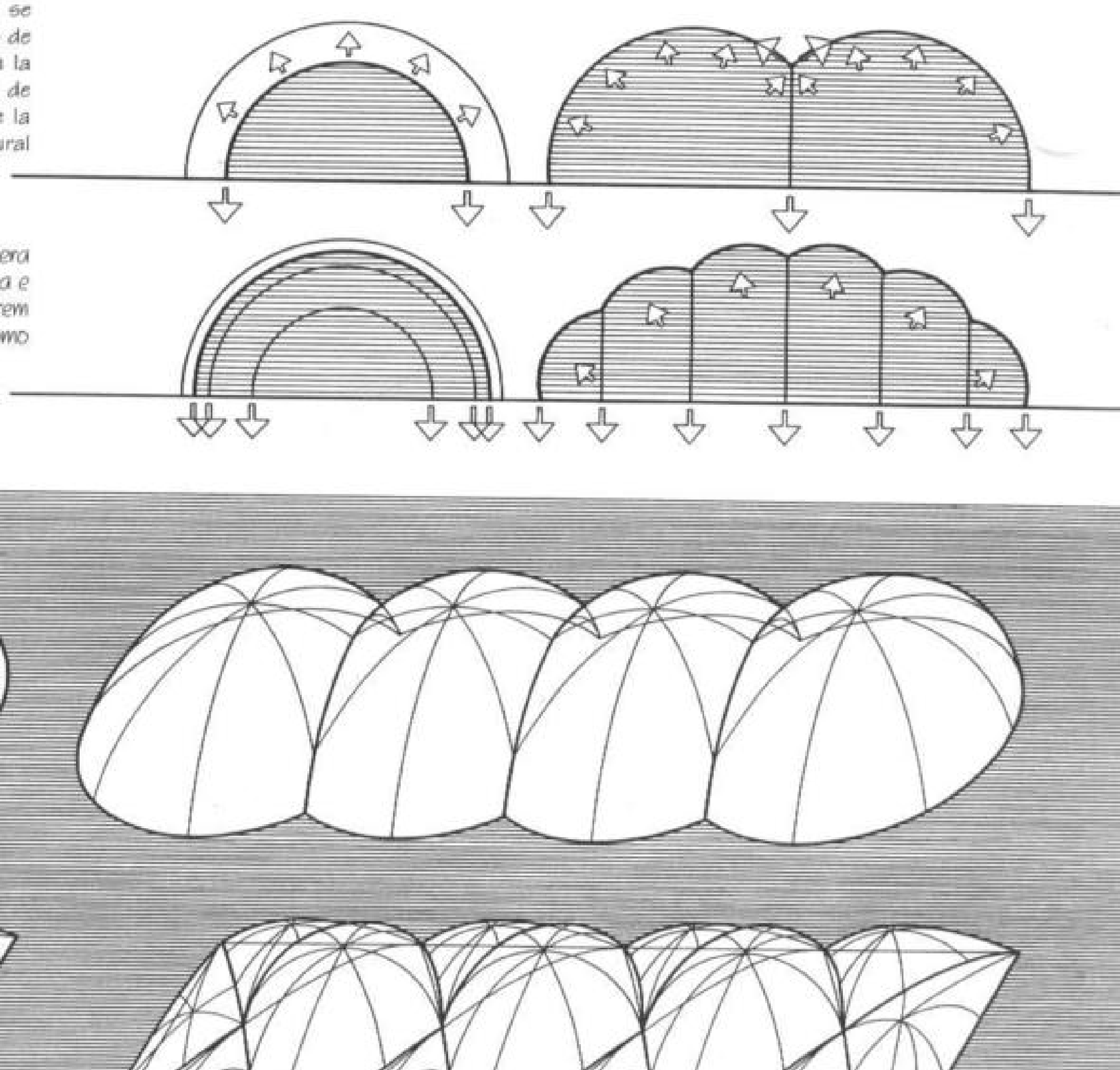


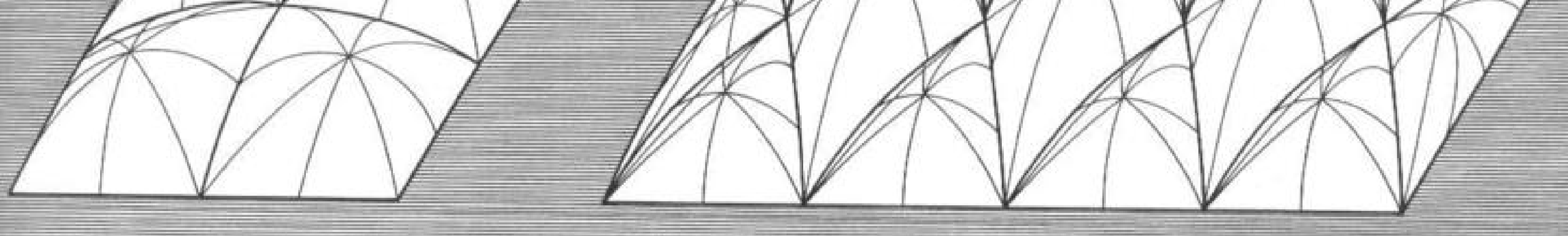
La estabilización de la forma de la envolvente esférica se mejora considerablemente añadiendo cables a tracción y dando mayor curvatura a los diferentes segmentos de cada uno de los casquetes esféricos de la membrana. De esta manera se pueden cubrir grandes luces.

A estabilização da forma do invólucro esférico será notavelmente melhorada ao introduzir-se cabos tensionados e prover as unidades segmentares com membranas de mais curvatura. Por este método, pavilhões pneumáticos de vãos maiores podem ser viáveis.

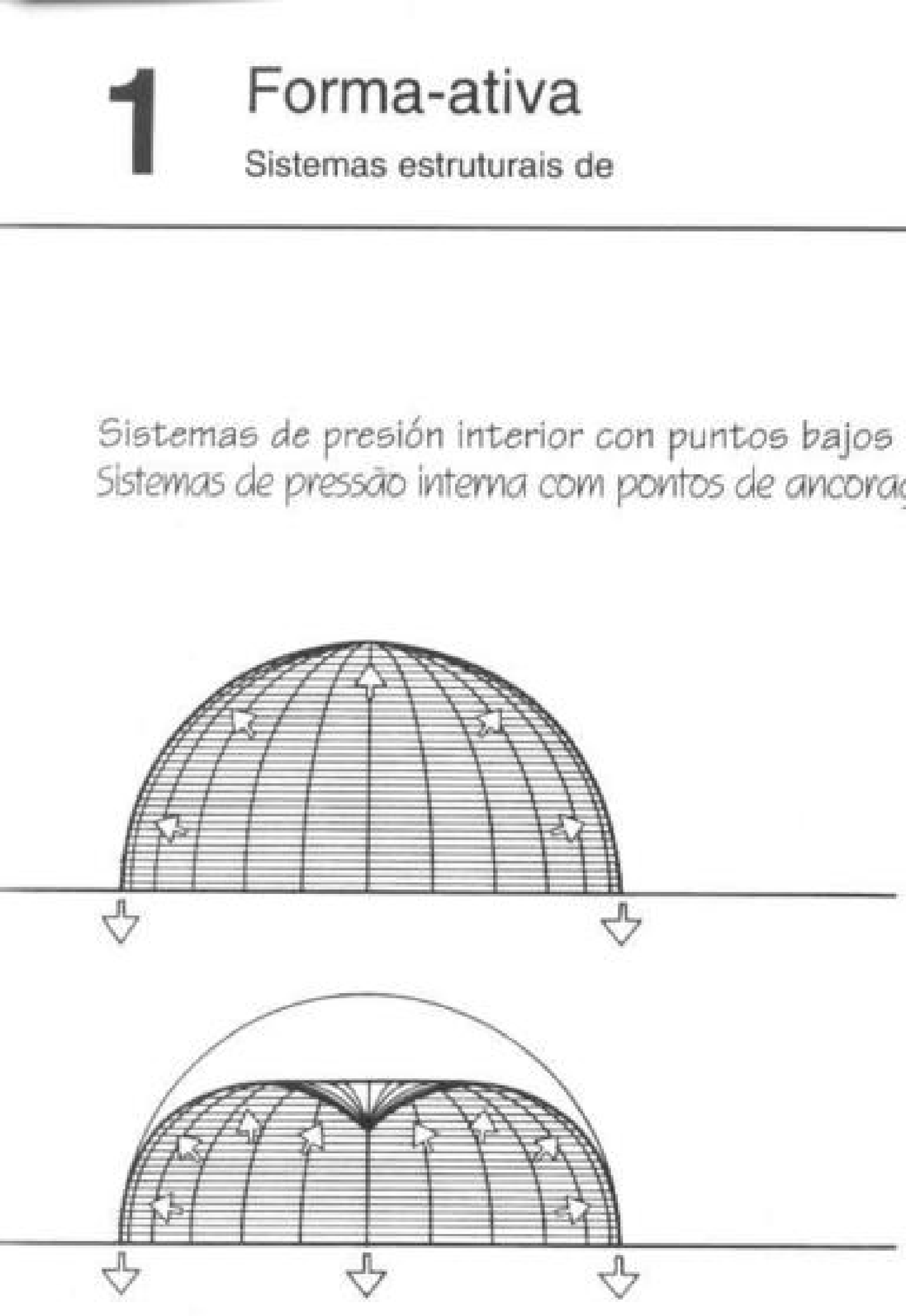
Disponiendo cables a tracción, la superficie esférica se puede subdividir en diferentes elementos con un radio de curvatura más pequeño, por lo que las tensiones en la membrana serán menores. Los cables se encargan de transmitir la mayor parte de la carga, mientras que la membrana cumple la función de elemento estructural intermedio de segundo orden.

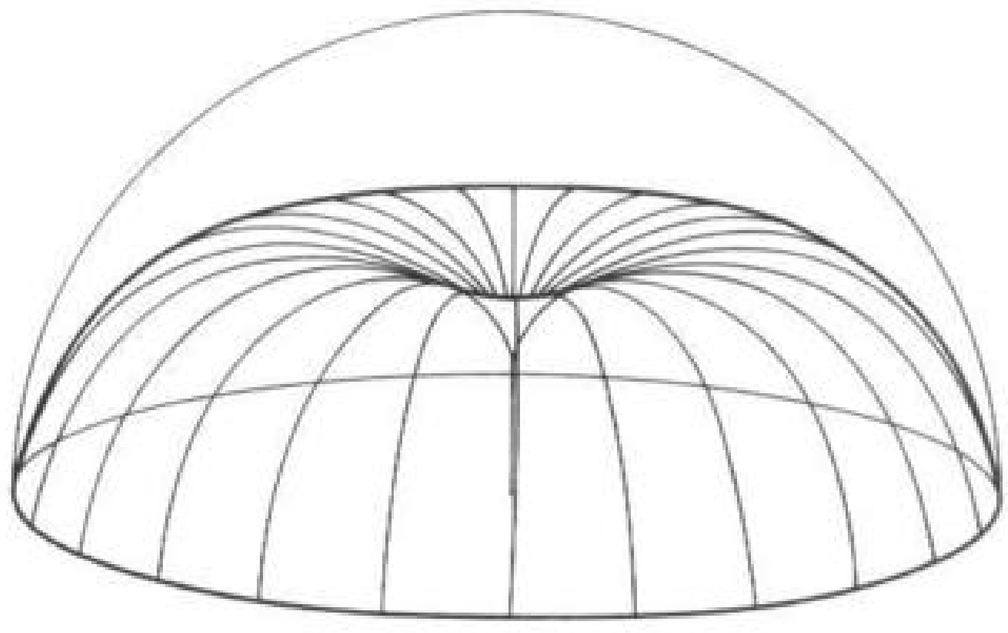
Atravessada por cabos tensionados, a superfície da esfera pode ser dividida em seções com raios de menor curvatura e portanto menores tensões de membrana. Os cabos transferem as principais forças enquanto a membrana funciona como estrutura secundária intermediária.





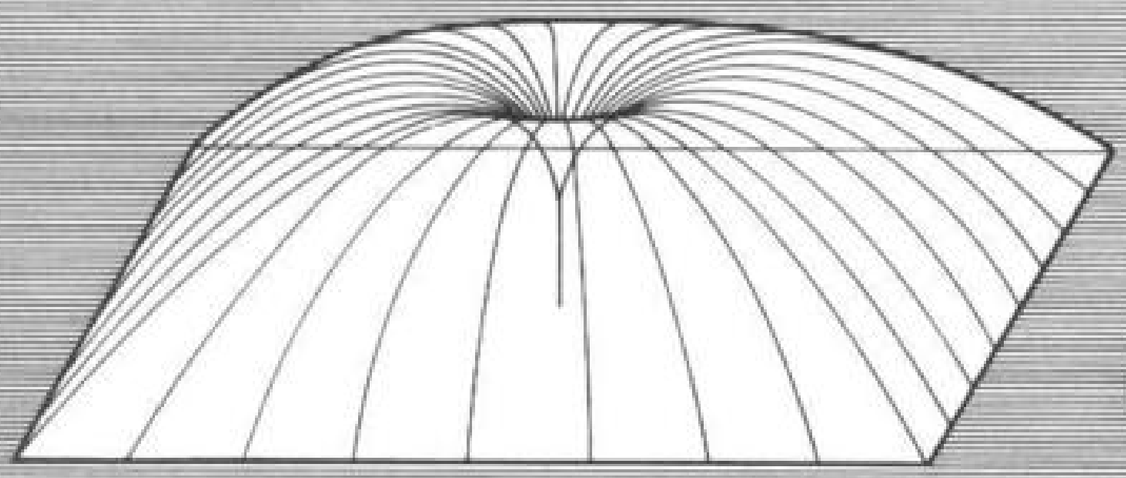
Sistemas de presión interior con puntos bajos
Sistemas de pressão interna com pontos de ancoragem interiores

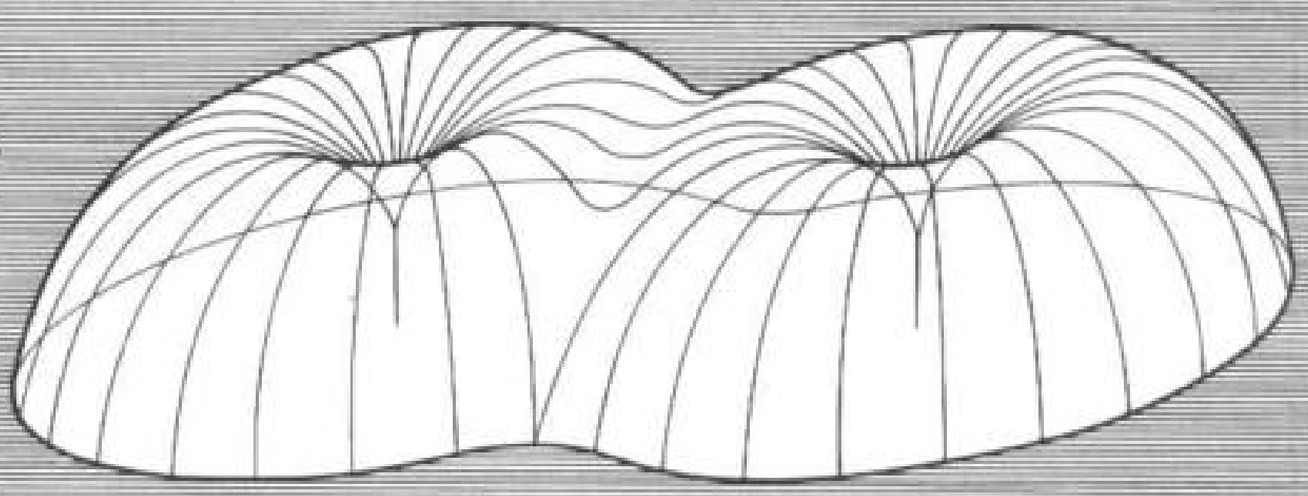


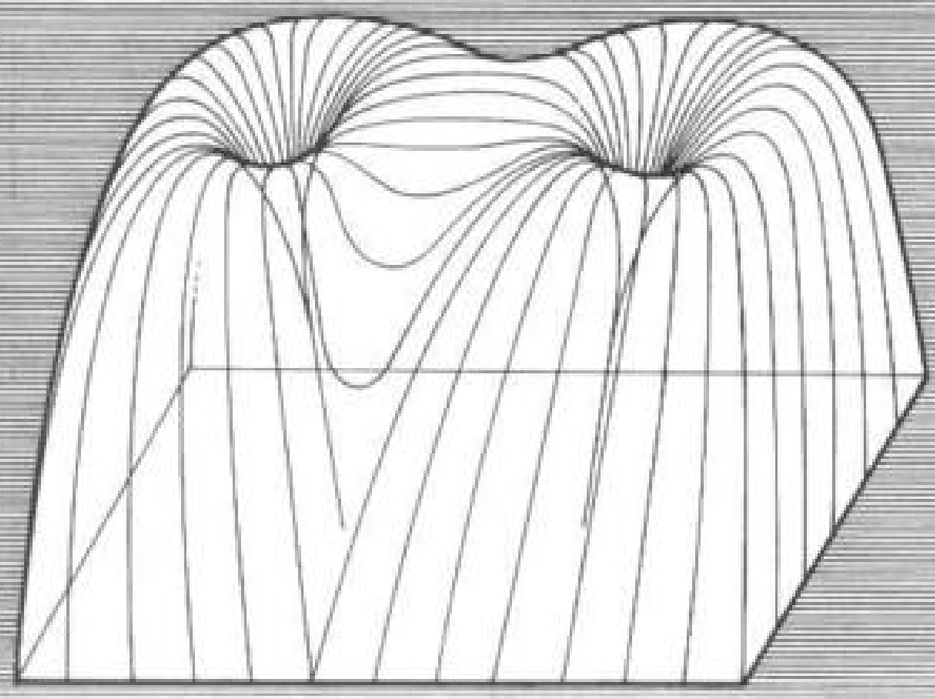


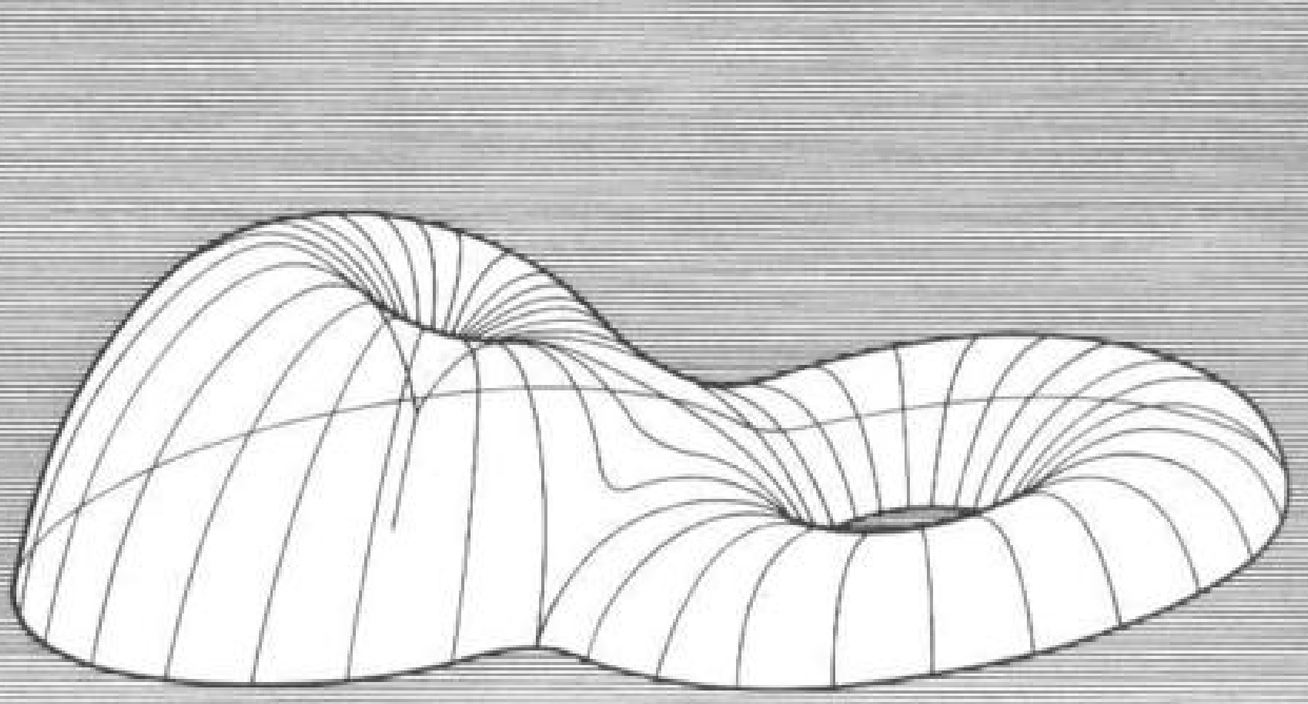
Anclando la membrana no sólo por su perímetro, sino también en la zona central, se reduce el radio de curvatura de la membrana y, con ello, las tensiones en su superficie. De esta manera, se pueden cubrir y delimitar espacios más grandes sin aumentar la altura de la construcción.

Por meio da ancoragem da membrana, não apenas a borda, mas também a porção central, o raio de curvatura e, por conseqüência, os esforços na membrana são reduzidos. Desse modo, são possíveis a cobertura e o fechamento de amplos espaços sem aumento da altura da construção.







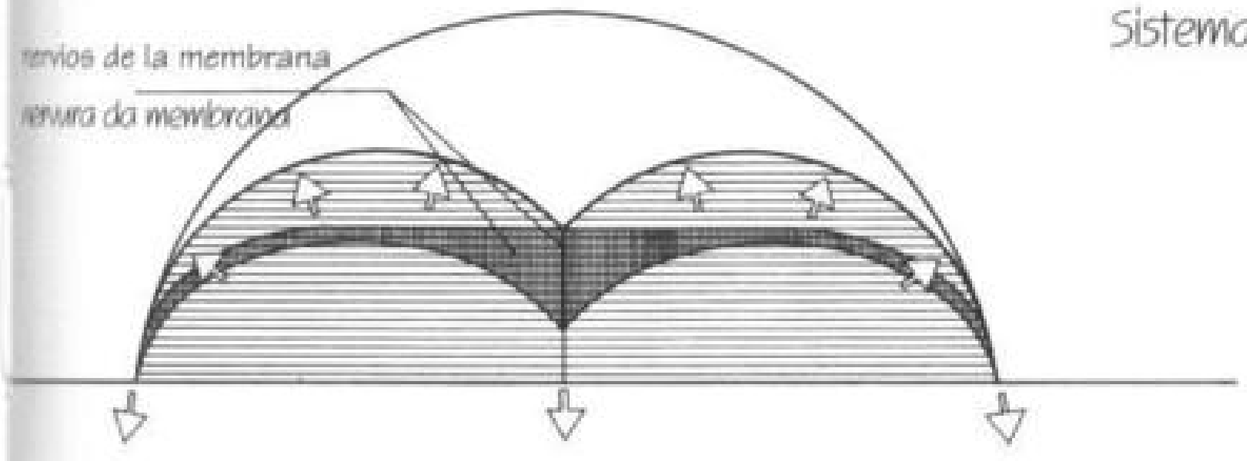


# Forma activa

## Sistemas de estructuras de 1

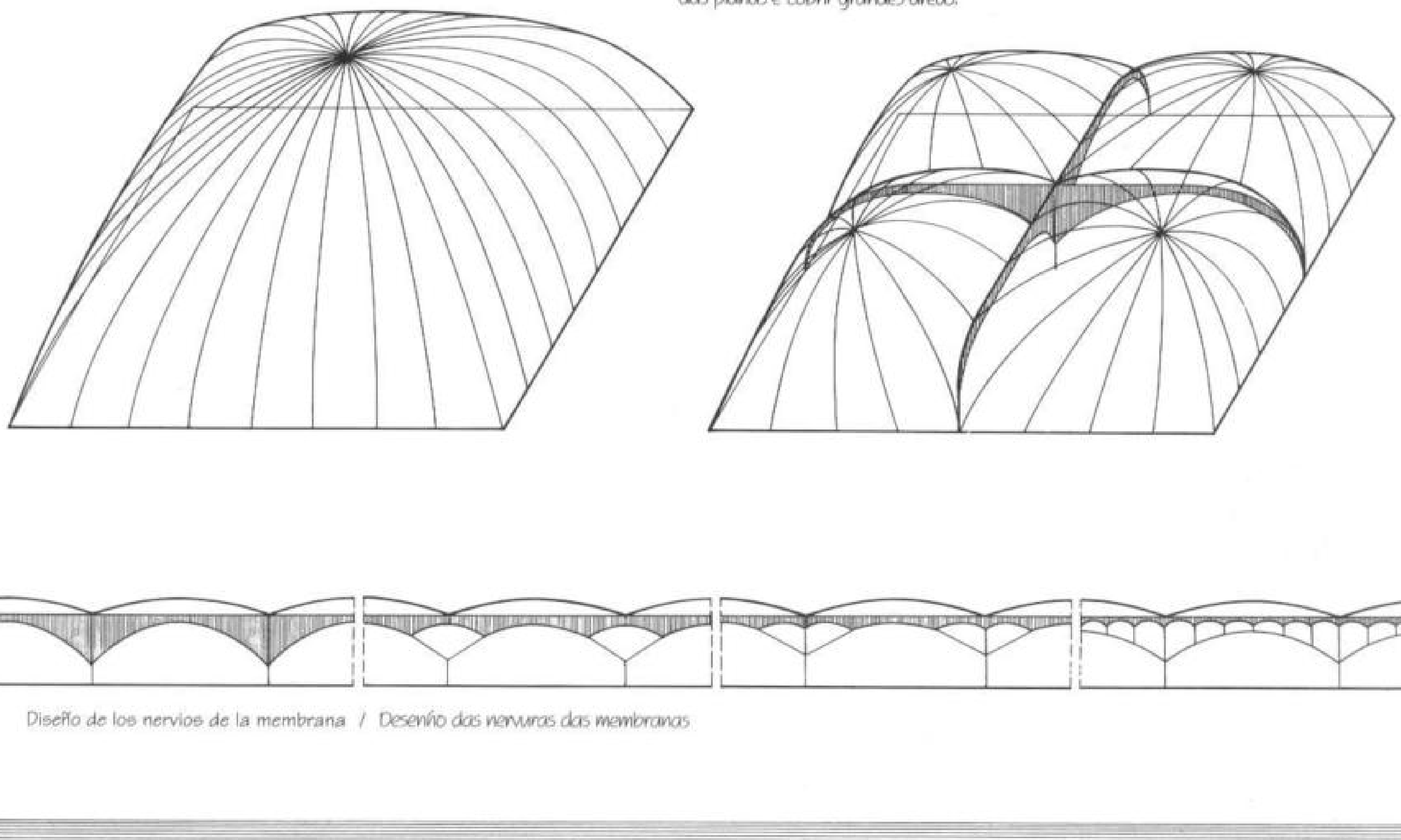
Sistemas neumáticos de presión interior en los que la transmisión de cargas se realiza, sobre todo, a través de nervios en la membrana

Sistemas pneumáticos de pressão interna com maior transmissão de carga através das nervuras da membrana




Las superficies esféricas también se pueden subdividir en partes más pequeñas con un radio de curvatura menor y, en consecuencia, con menores tensiones en su superficie, colocando pequeñas membranas verticales ancladas por su extremo inferior (nervios). Dado que este sistema permite construir limahoyas de cubierta rectas, se pueden cubrir espacios muy grandes.

Não apenas através de cabos isolados, mas também pelo uso de membranas verticais (nervuras de membranas) ancoradas às fundações, a superfície esférica pode ser subdividida em seções menores com menor raio de curvatura. Assim obtém-se, conseqüentemente, menores esforços da membrana, uma vez que é possível formar desse modo águas-furtadas planas e colorir grandes áreas.

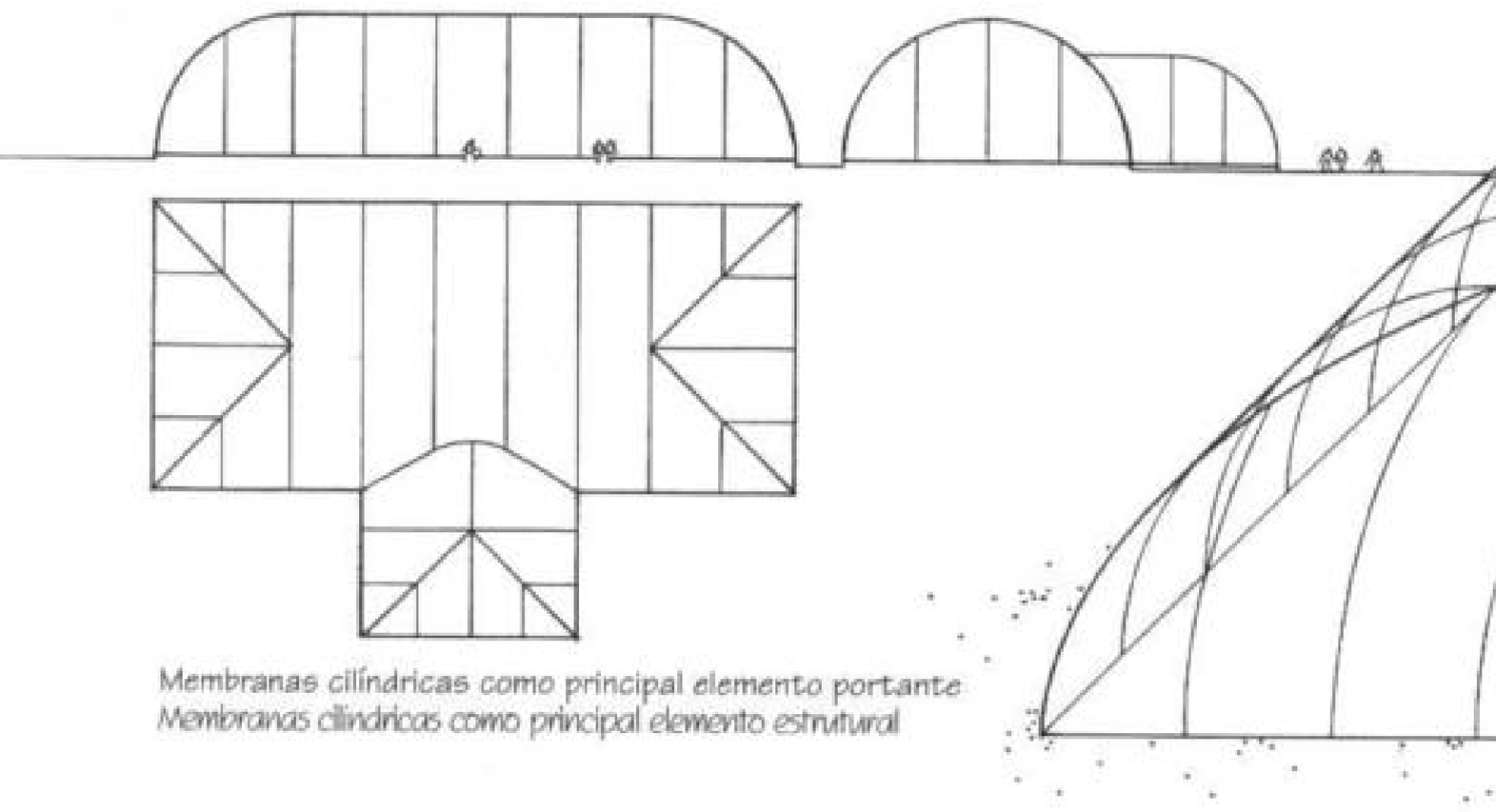


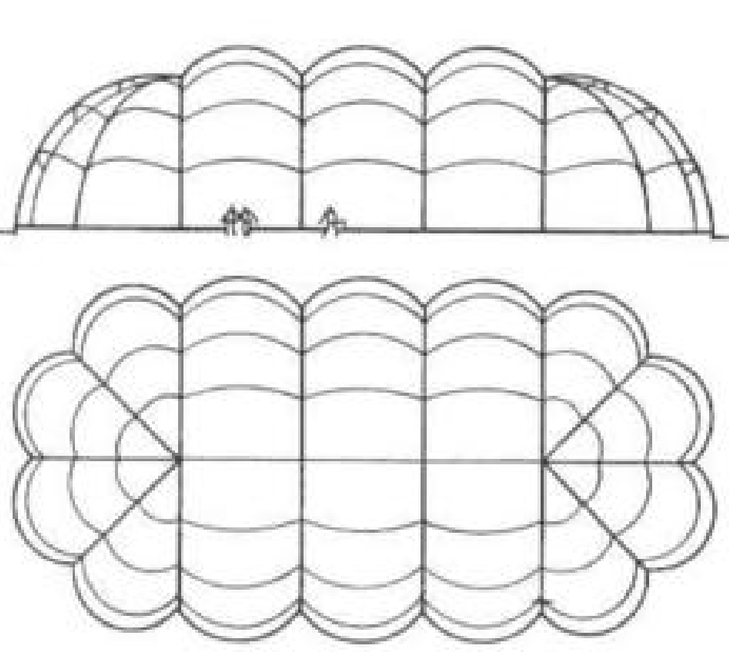
Diseño de los nervios de la membrana / Desenho das nervuras das membranas

Sistemas de naves neumáticas / Sistemas pneumáticos

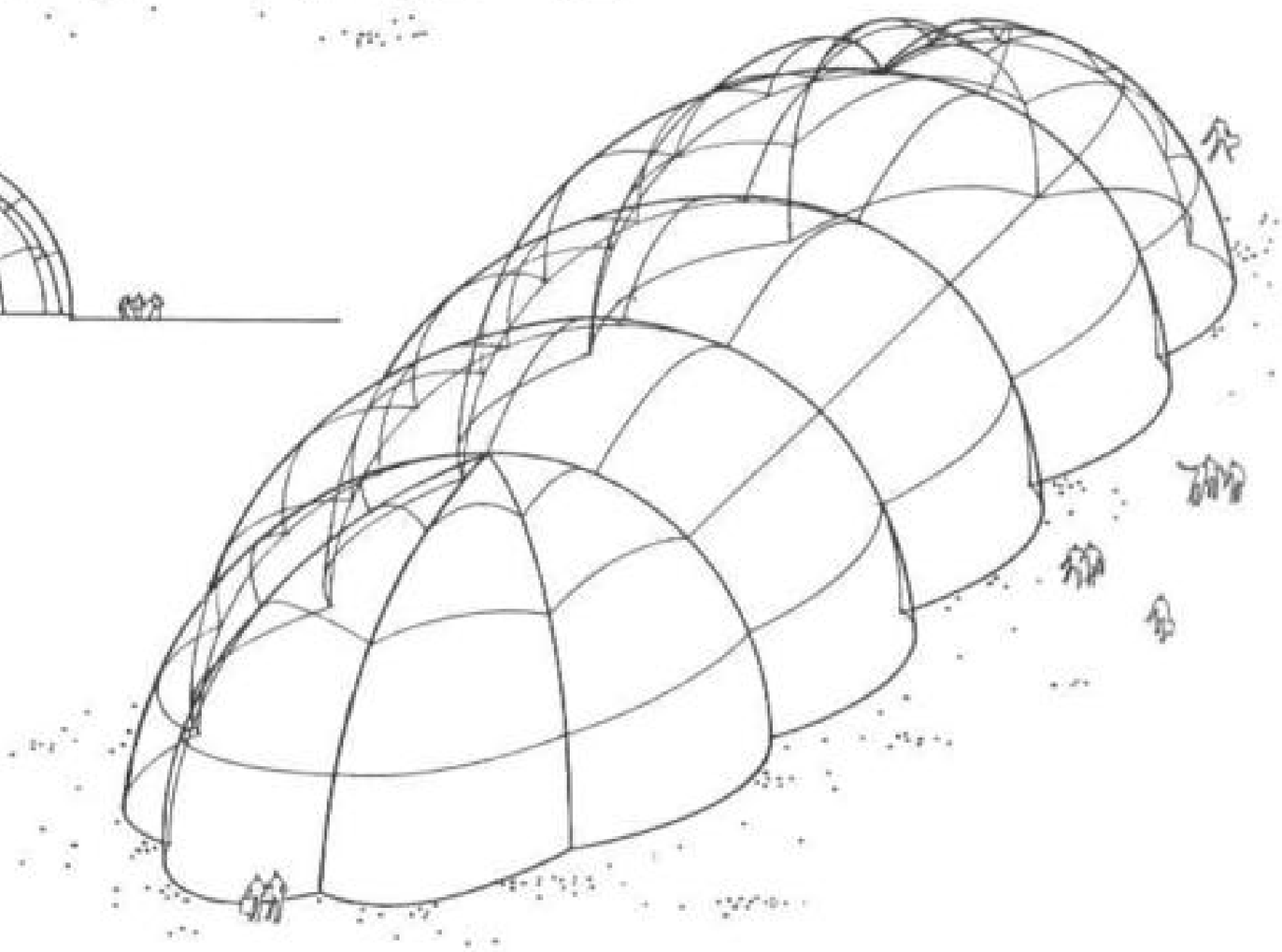


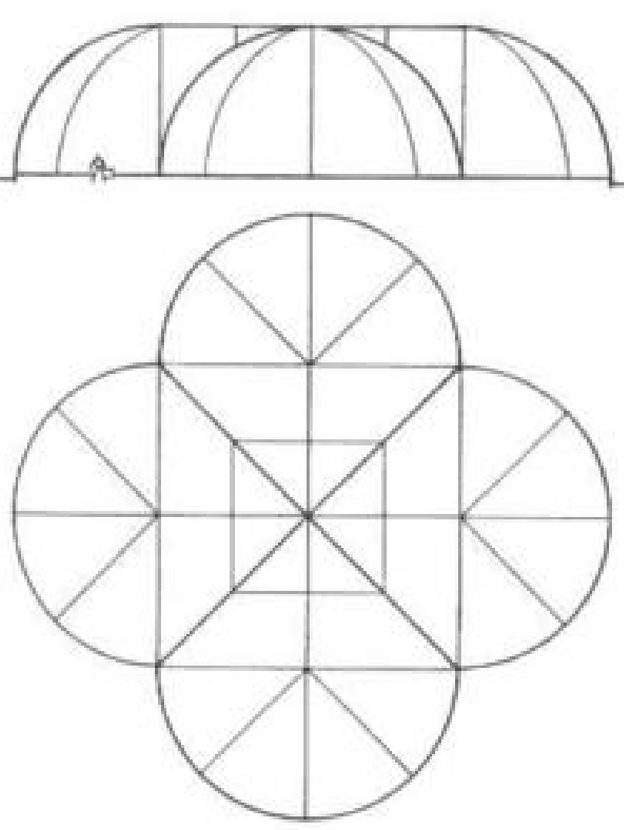
Membranas cilíndricas como principal elemento portante
Membranas cilíndricas como principal elemento estrutural



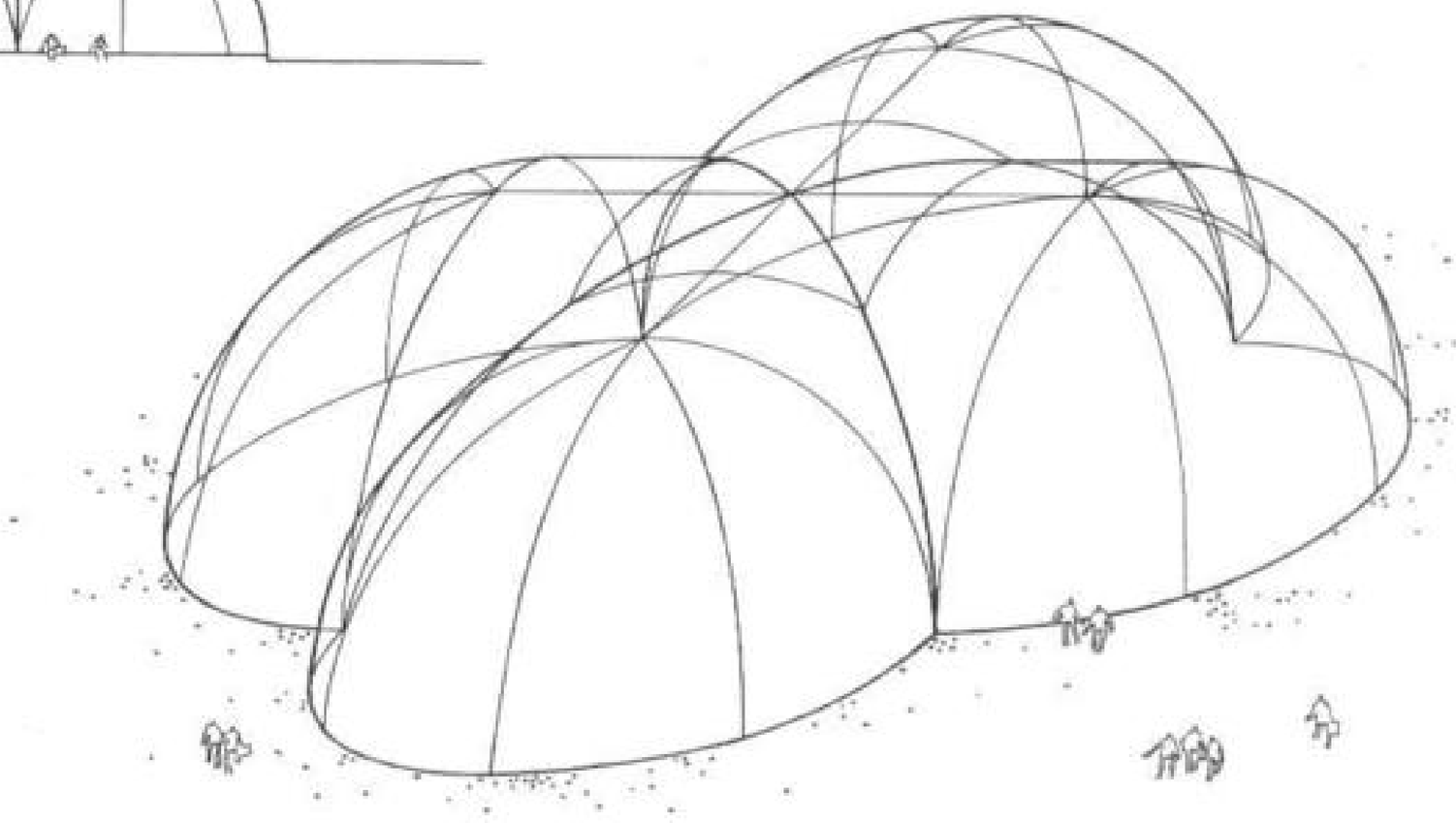


Membranas en forma de toro entre una serie de cables paralelos atirantados
Membranas toroidais entre cabos de carga alinñados

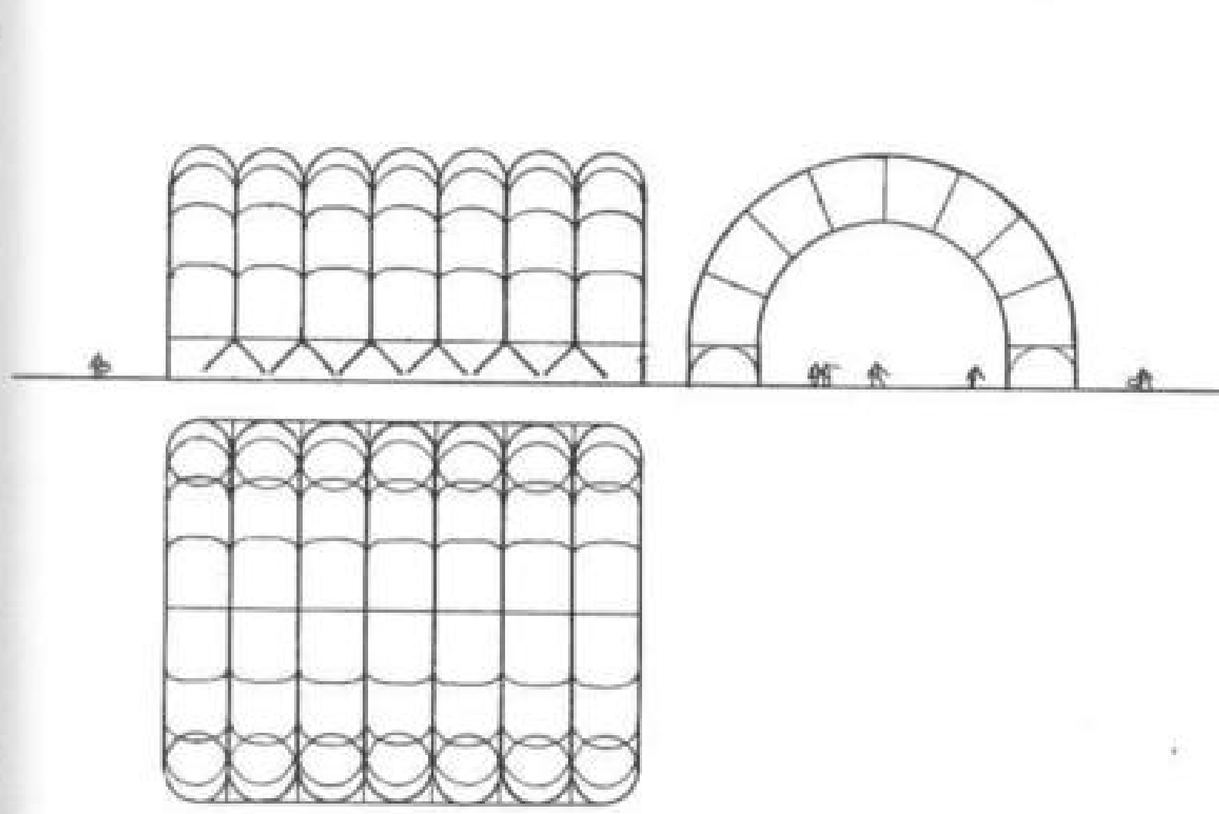




Intersección de membranas cilíndricas y esféricas
Membranas cilíndricas e esféricas cruzadas



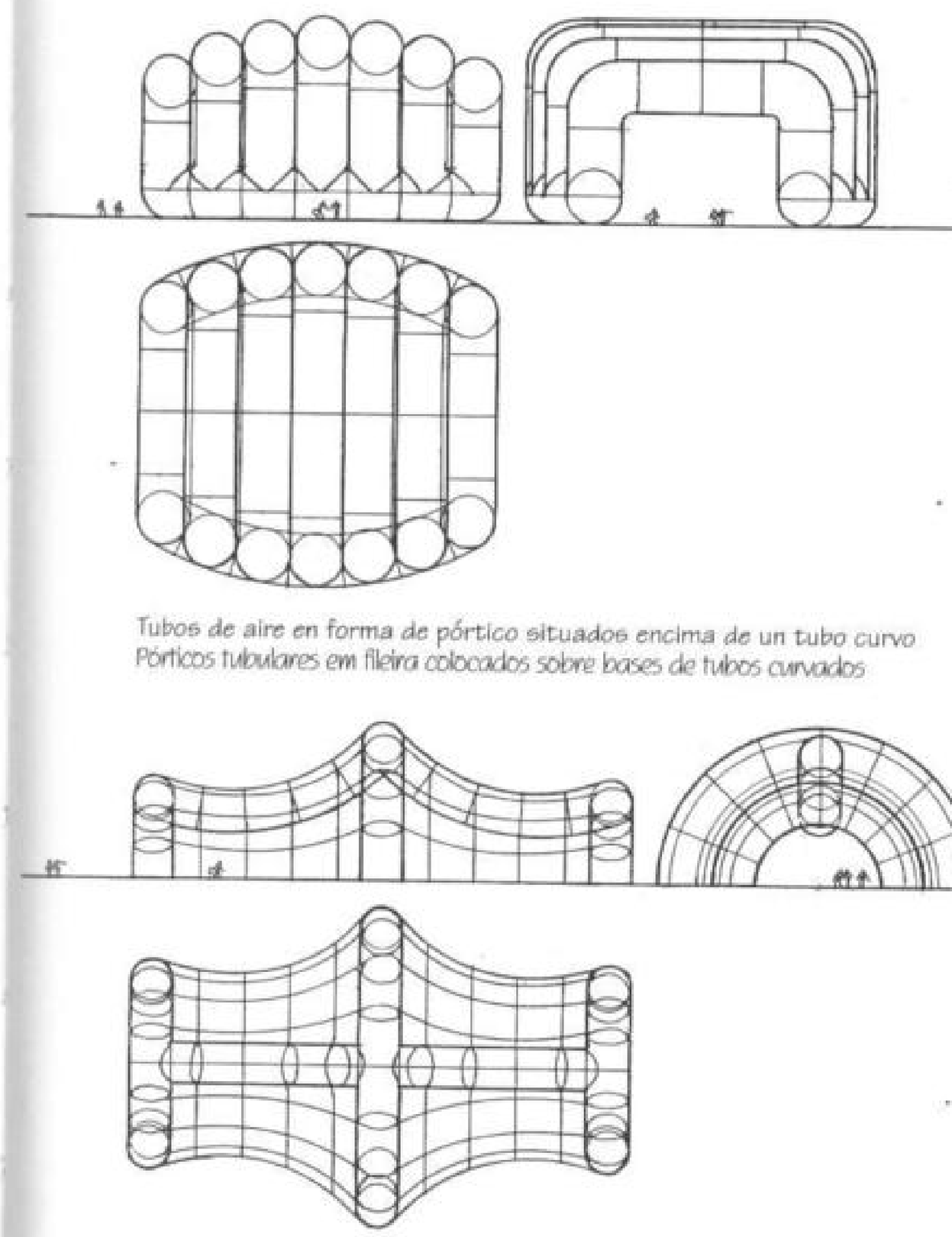
Sistemas de tubos de aire / Sistemas de tubo de ar



Tubos de aire en forma de arco situados encima de medio tubo recto
Arcos tubulares em fileira colocados sobre bases de semi-tubos retos



Tubos de aire en forma de pórtico situados encima de un tubo curvo
Pórticos tubulares em fileira colocados sobre bases de tubos curvados



Esqueleto de tubos curvos y delimitación del espacio mediante una malla de cables o una membrana
Esqueleto tubular curvado com rede de cabos ou membrana como espaço fechado

Evolución de la nave neumática en forma de cúpula plana atirantada con una malla de cables, a partir del sistema estándar de naves neumáticas soportadas por aire

Desenvolvimento de pavilhões pneumáticos de baixo perfil com cabos de contenção a partir de sistema padrão de pavilhões pneumáticos

succión del viento / sucção de vento

viento / vento

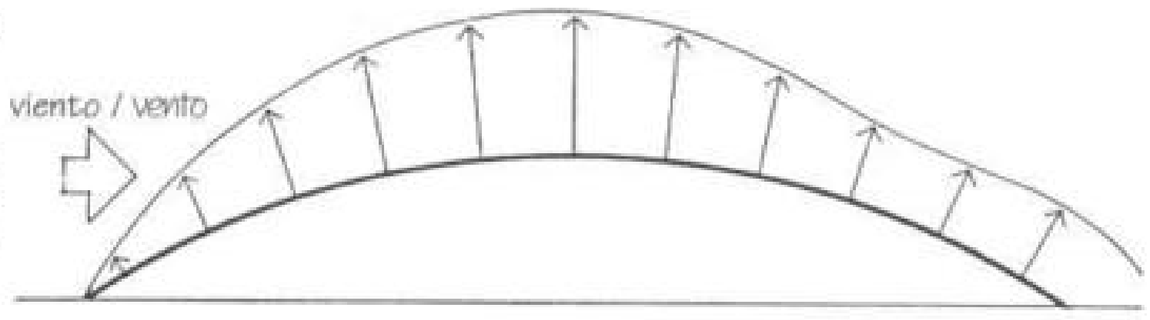
presión del viento / pressão do vento

Carga de viento de la cúpula semiesférica

Es necesaria una presión interior superior para estabilizar la membrana frente a la PRESIÓN del viento

Cargas do vento em cúpula semi-esférica

Pressão de ar interna adicional necessária para a estabilização da membrana contra as forças COMPRESSORAS do vento

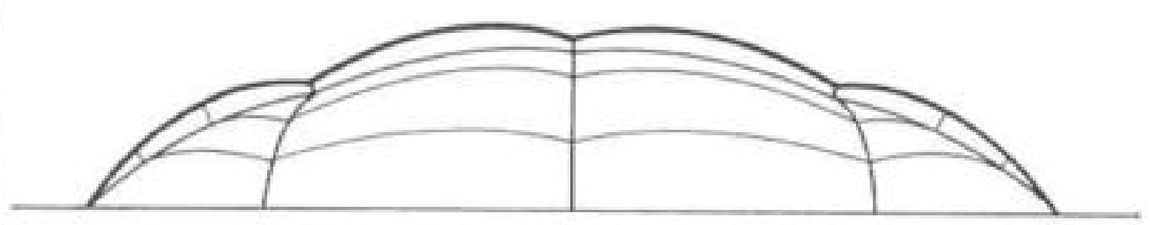



Reducción del perfil hasta el segmento plano

Sobre la membrana sólo actúa la SUCCIÓN del viento. Sin embargo, debido a la menor curvatura de la membrana se necesita aumentar la presión interior para estabilizar la forma de la membrana

Redução de perfil para segmento de baixa altura

Membrana sendo tensionada somente pela SUCÇÃO do vento; mas é necessária uma pressão interna adicional para a estabilização da membrana por causa da sua curvatura reduzida

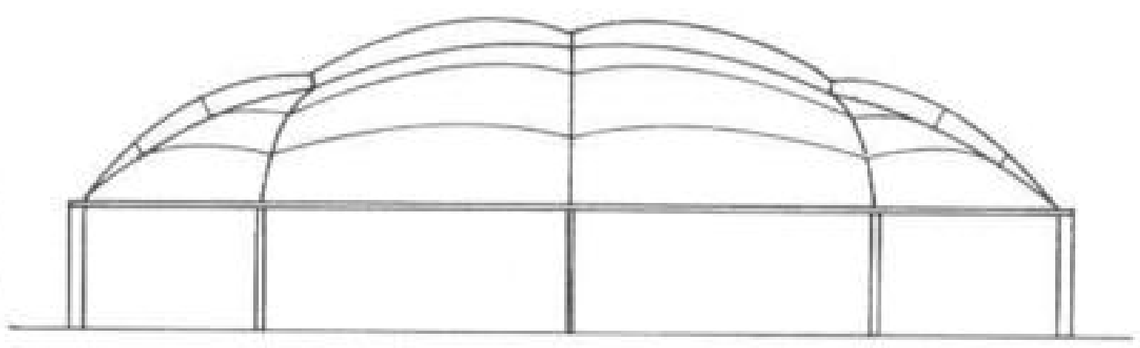


Transmisión de las cargas, sobre todo, a través de cables

Descarga de la membrana mediante cables atirantados / estabilización más eficaz gracias a la mayor curvatura de la membrana

Transmissão principal de carga através de cabos

Descarga da membrana através de cabos de contenção / melhora de estabilização graças ao menor raio de curvatura da membrana

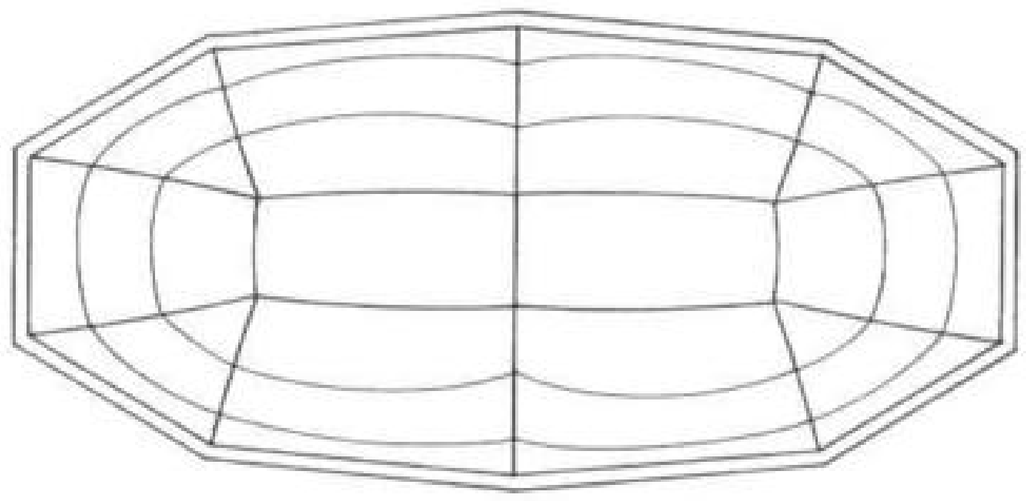


Elevación de la cúpula plana

Se puede aumentar el espacio interior elevando el plano de anclaje (en vez del anclaje directo al suelo, como en el caso de la típica nave neumática)

Realce de cúpula baixa

Aumento do espaço de ar interno através do posicionamento do plano de ancoragem sobre pilotis (em lugar de deixá-lo no nível do solo como o pavilhão pneumático padrão)

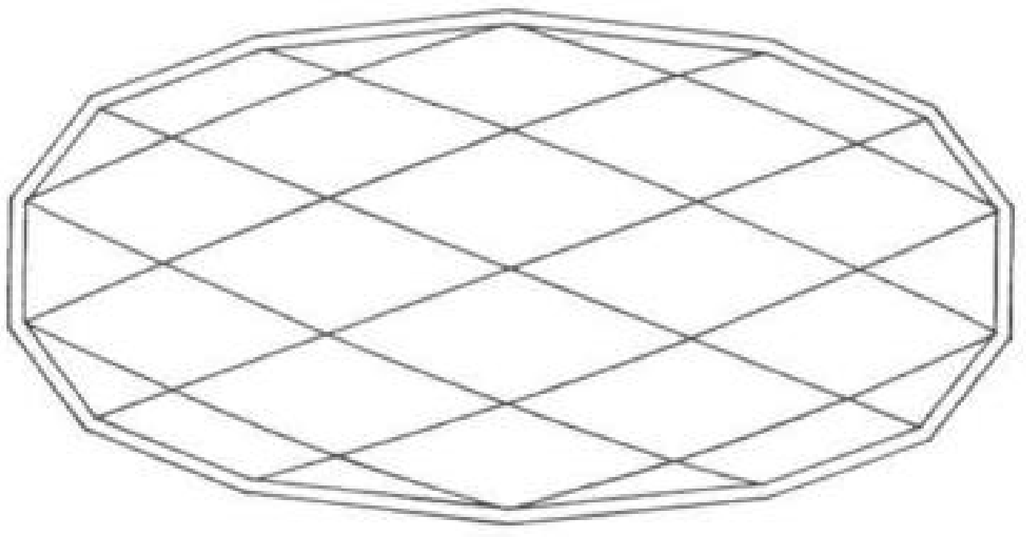


Diseño de la viga perimetral de anclaje

Forma funicular de la viga perimetral de soporte (arco horizontal) en relación con los esfuerzos en los cables para reducir las tensiones de flexión

Configuração da viga perimetral

Delineação funicular da viga perimetral (arco horizontal funicular) de acordo com as forças dos cabos para a redução da tensão de curvatura



Densificación de la malla de cables de anclaje

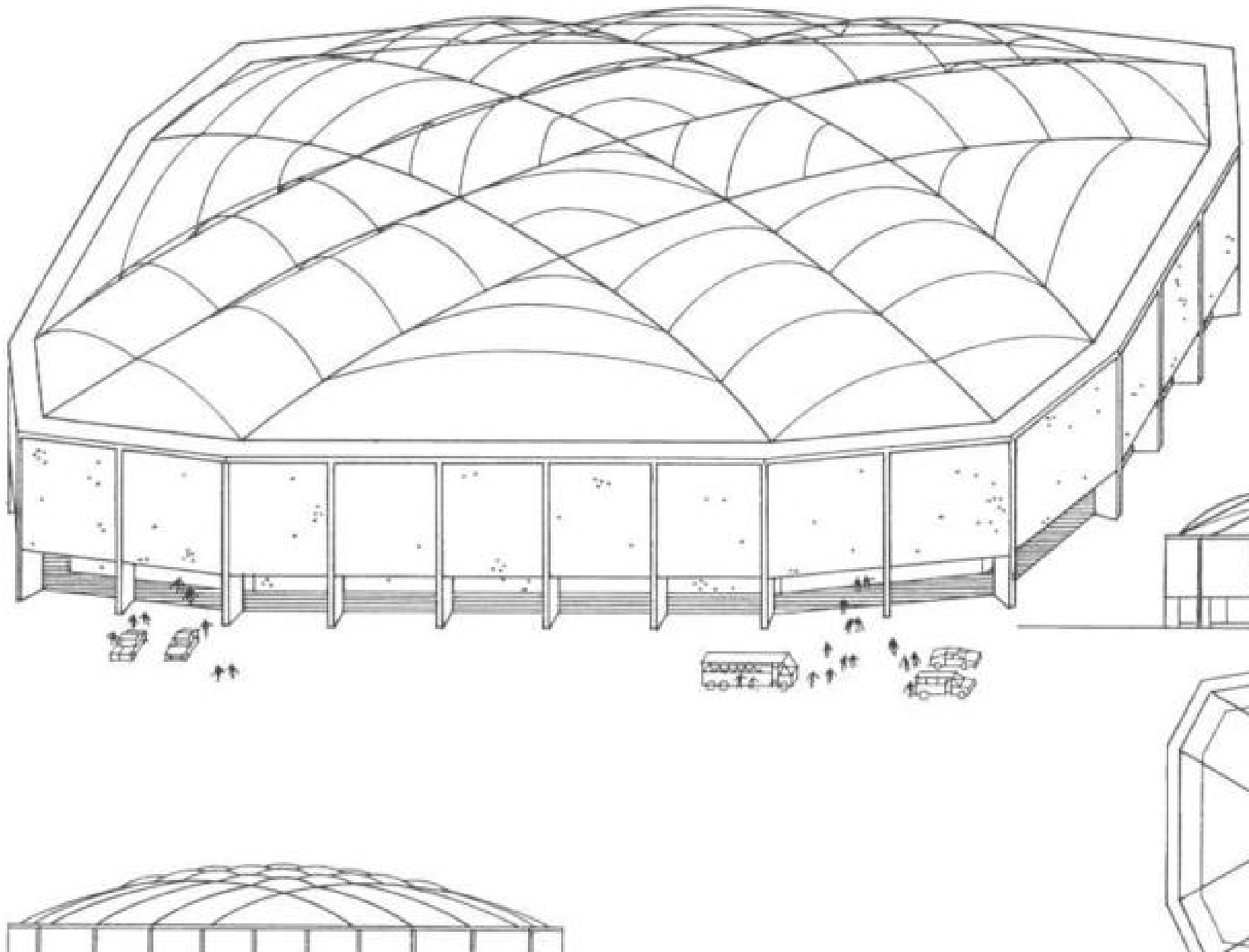
Aumento de la estabilización a consecuencia de la acción conjunta de la malla de cables y reducción simultánea de los segmentos de membrana mediante una subdivisión modular

Extensão restringida por redes de cabos

Aumento em estabilidade por causa do comportamento conjunto da rede de cabo com a redução de tamanho e subdivisão modular em segmentos de membrana

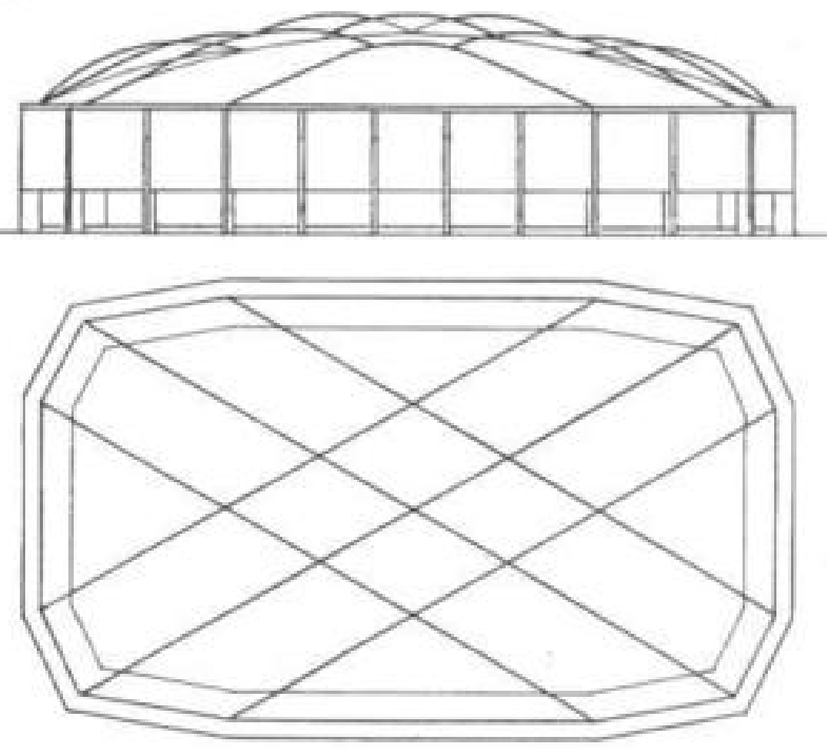
Grandes naves neumáticas en forma de cúpula plana y atirantadas mediante cables

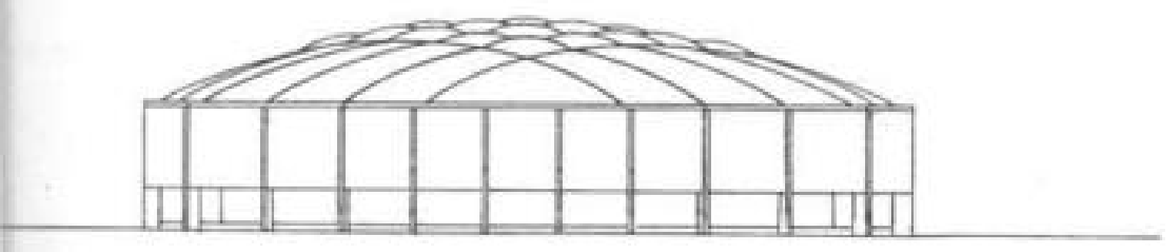
Super-pavilhões de ar de baixo perfil com cabos de retenção



Membrana atirantada con cables independientes

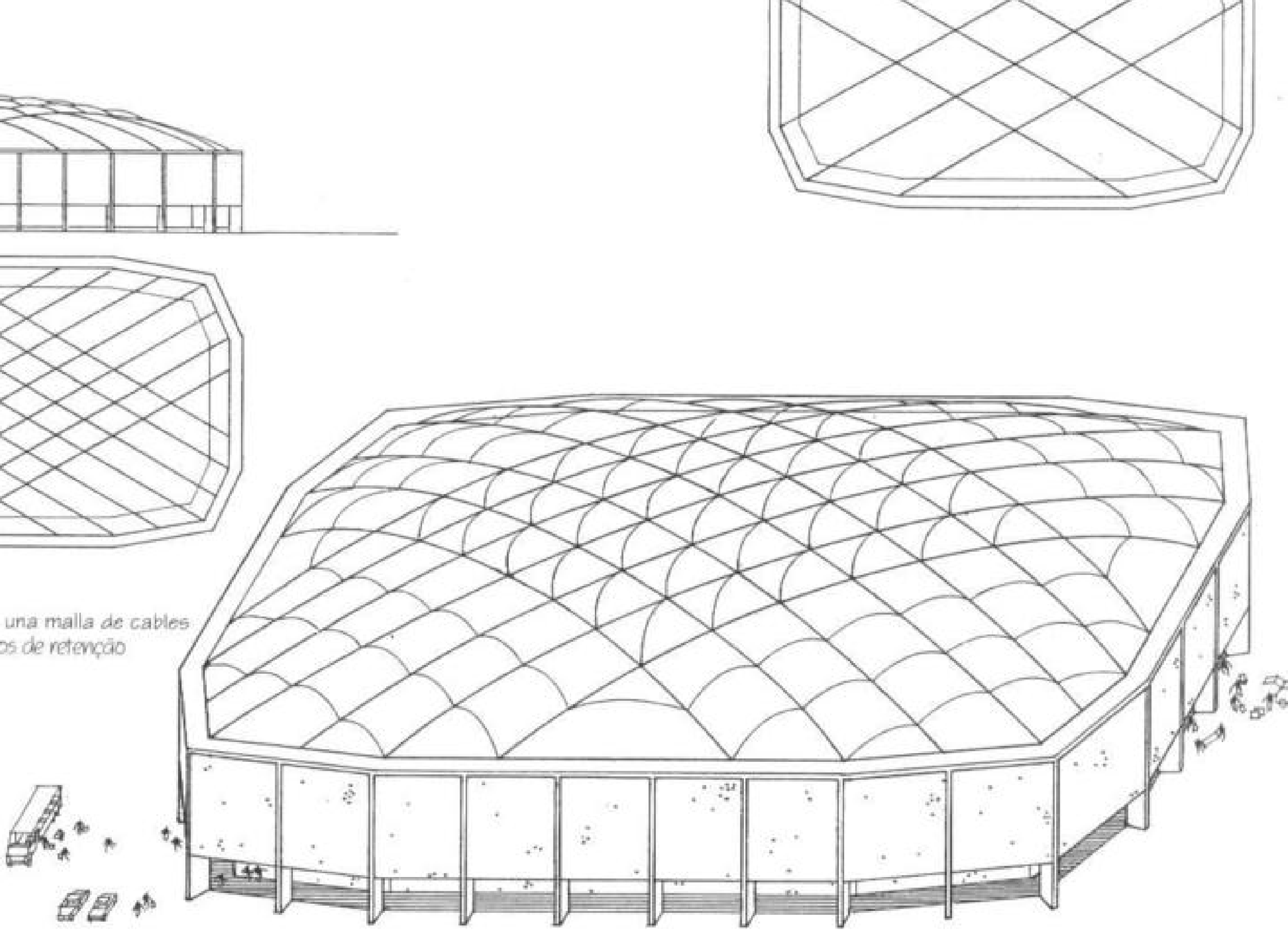
*Membrana com cabos de retenção independentes*

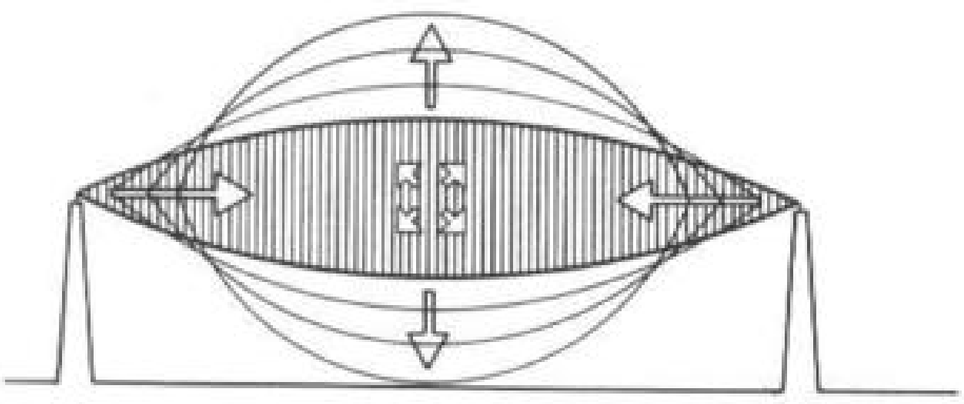




Membrana atirantada con una malla de cables

*Membrana com rede de cabos de retenção*





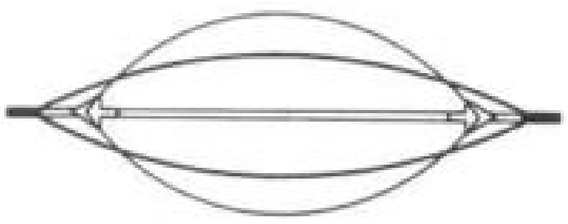
## Sistemas de doble membrana

Cerrando el espacio bajo presión con una segunda membrana (en vez de llevarlo hasta el suelo) se puede cubrir espacio dejando los laterales abiertos hacia el exterior. Para el correcto funcionamiento del mecanismo portante es imprescindible evitar el abombamiento excesivo de la zona central.

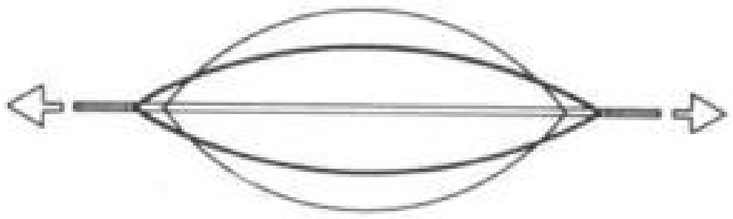
## Sistemas de retenção de colchão de ar

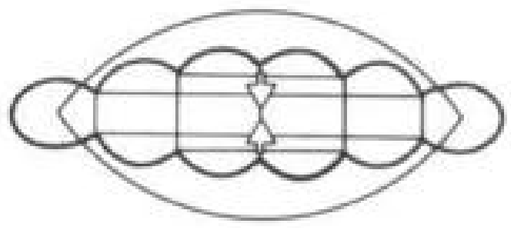
Através do fechamento do espaço com ar comprimido com outra membrana embaixo (ao invés da incorporação do piso), os espaços podem ser cobertos, mesmo quando abertos lateralmente para o exterior. Um requisito prévio para o mecanismo portante é que a membrana não pode ficar abaulada no meio, adquirindo forma esférica.

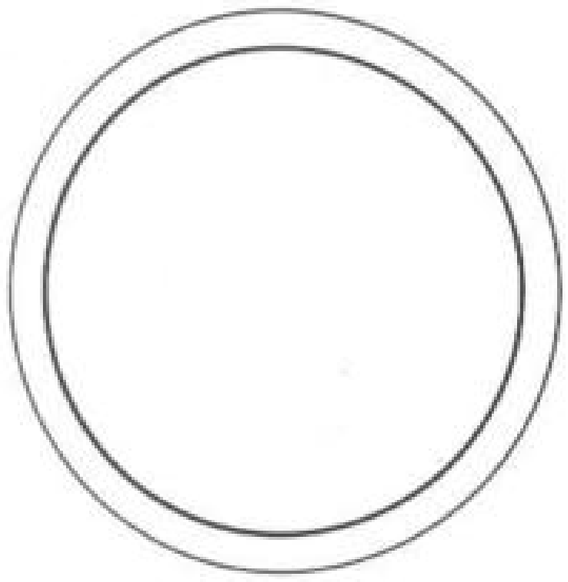
Sistemas de retención para los colchones de aire



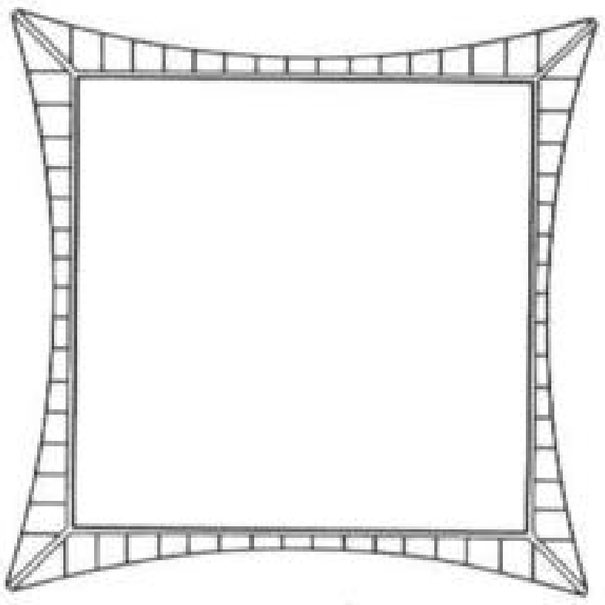
Sistemas de retenção com colchões de ar



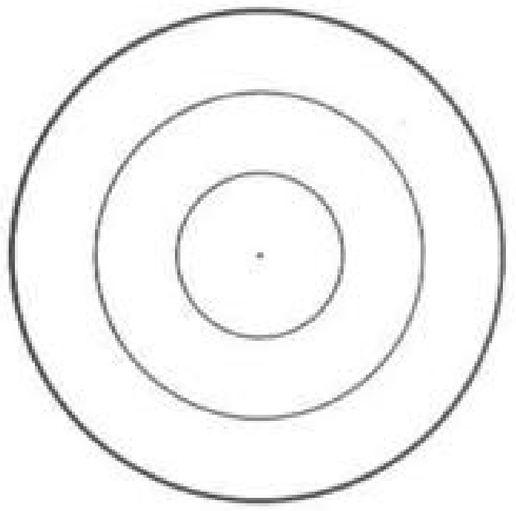




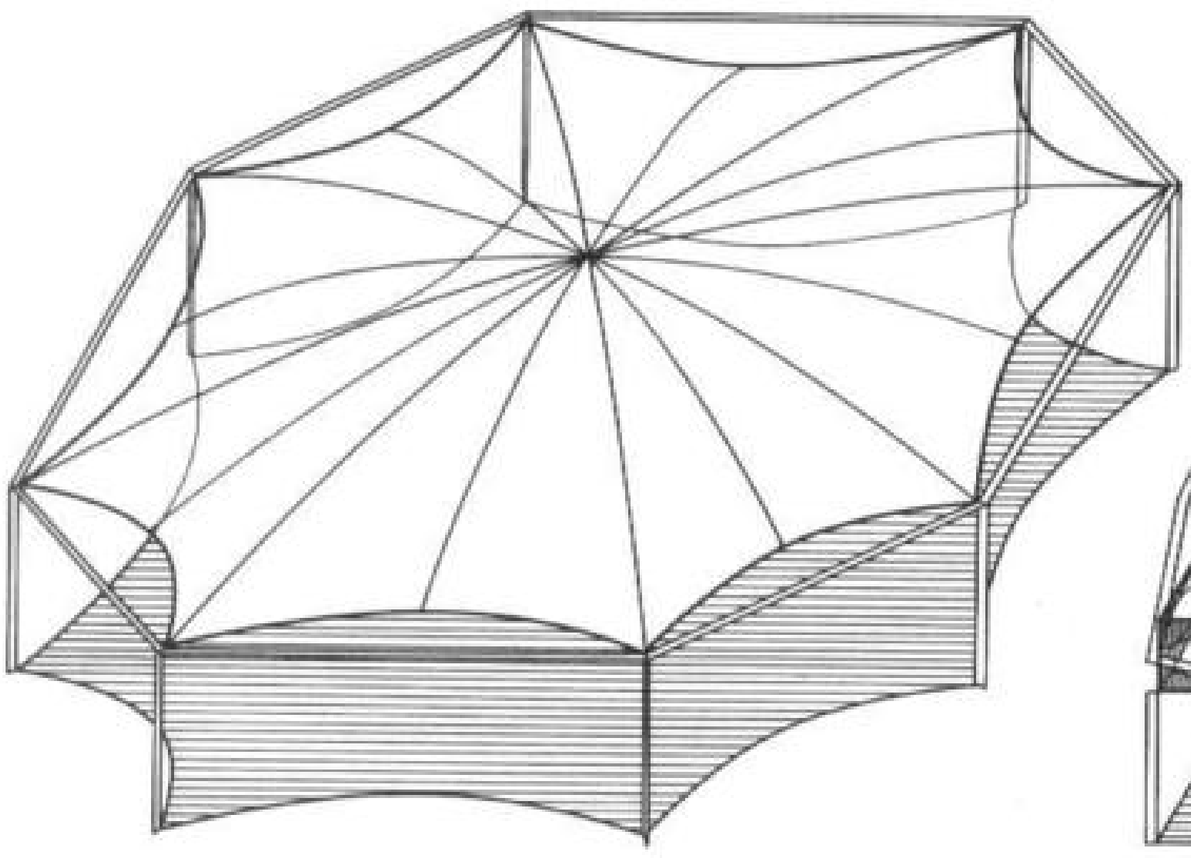
Fijación perimetral con anillo a compresión
Fixação da borda com anel de compressão



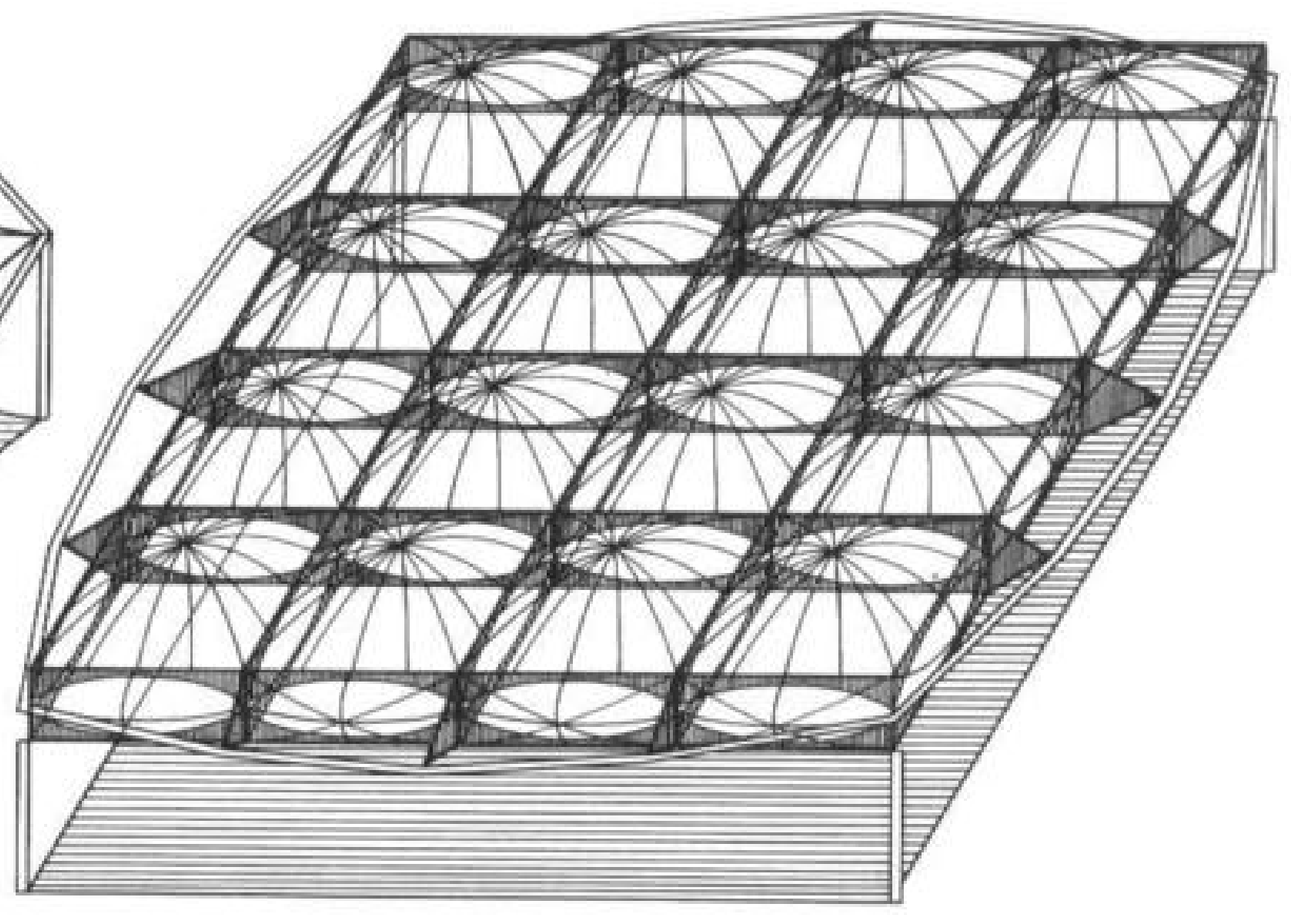
Fijación perimetral con barras a compresión y cables a tracción
Fixação da borda com barras de compressão e cabos de suspensão



Control de la altura mediante cables o nervios internos
Controle da altura com cabos ou nervuras intern

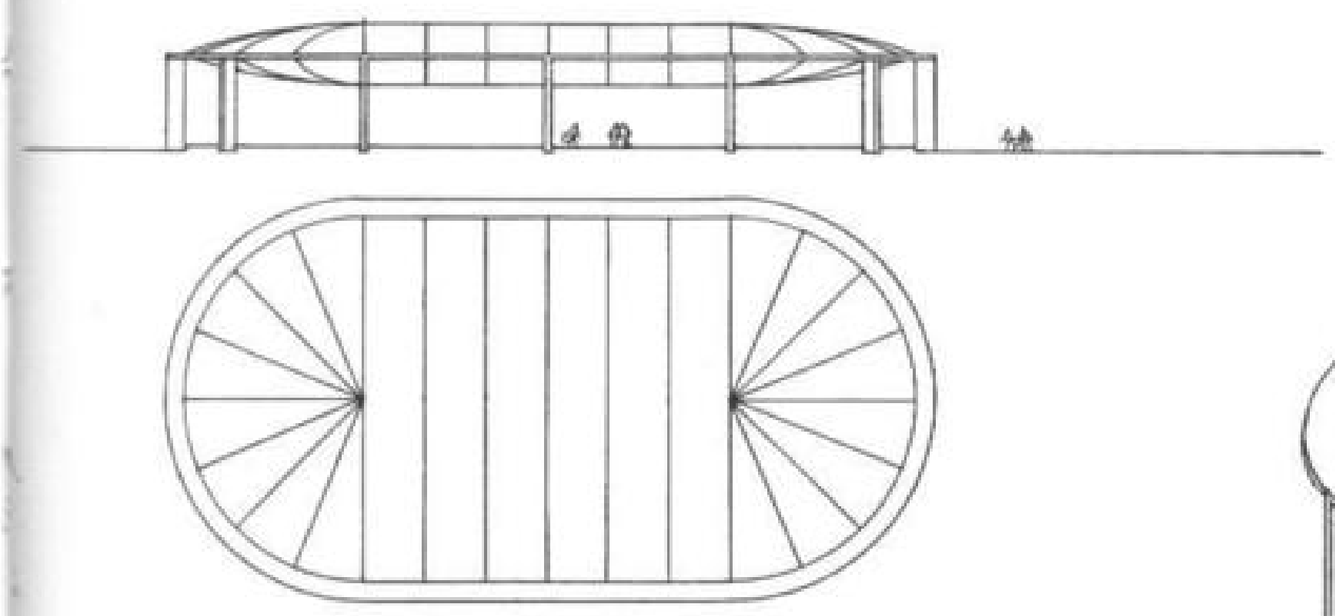


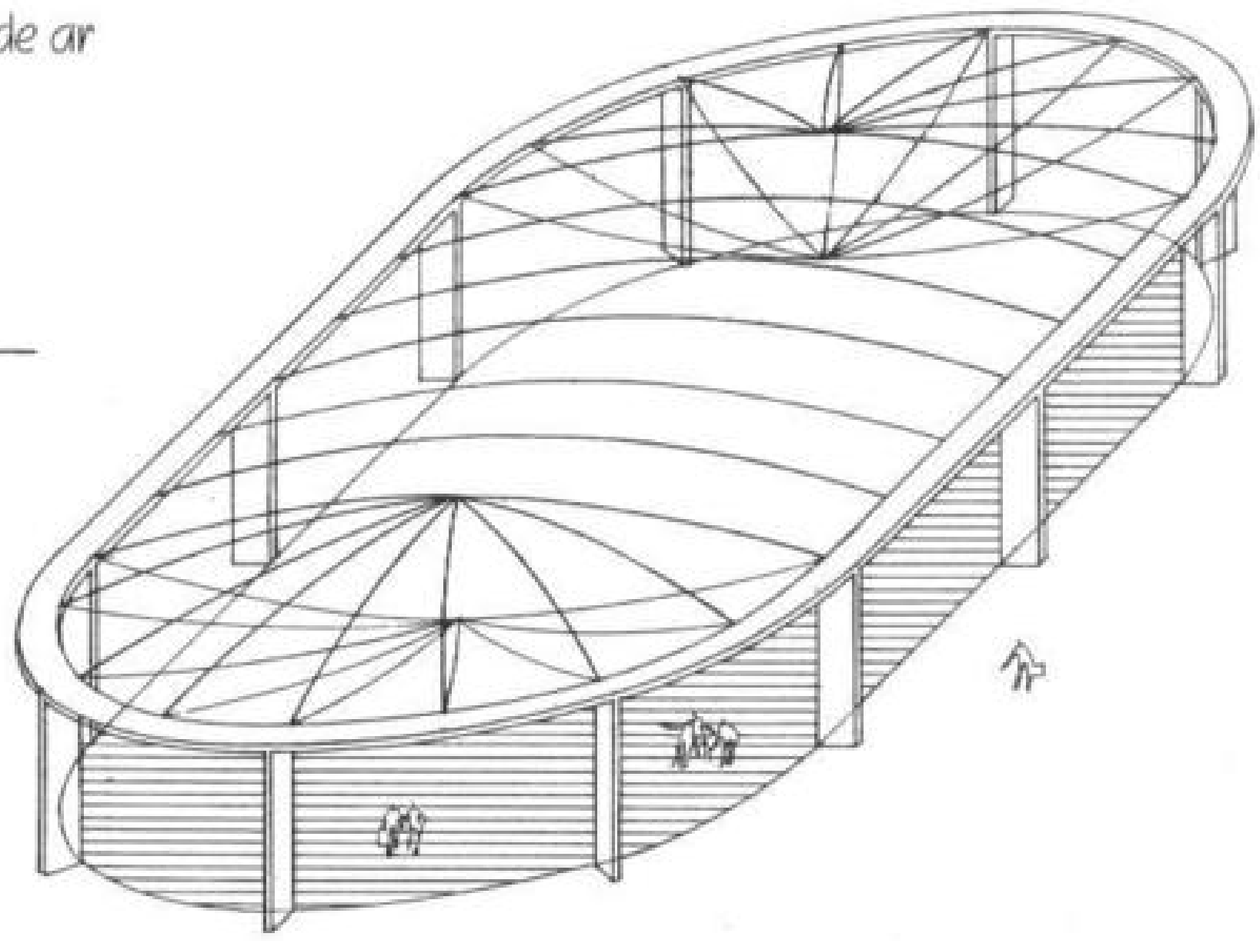
Sistema de cámara única con anillo de barras a compresión como mecanismo de retención
Sistema de câmara simples com anel de compressão poligonal



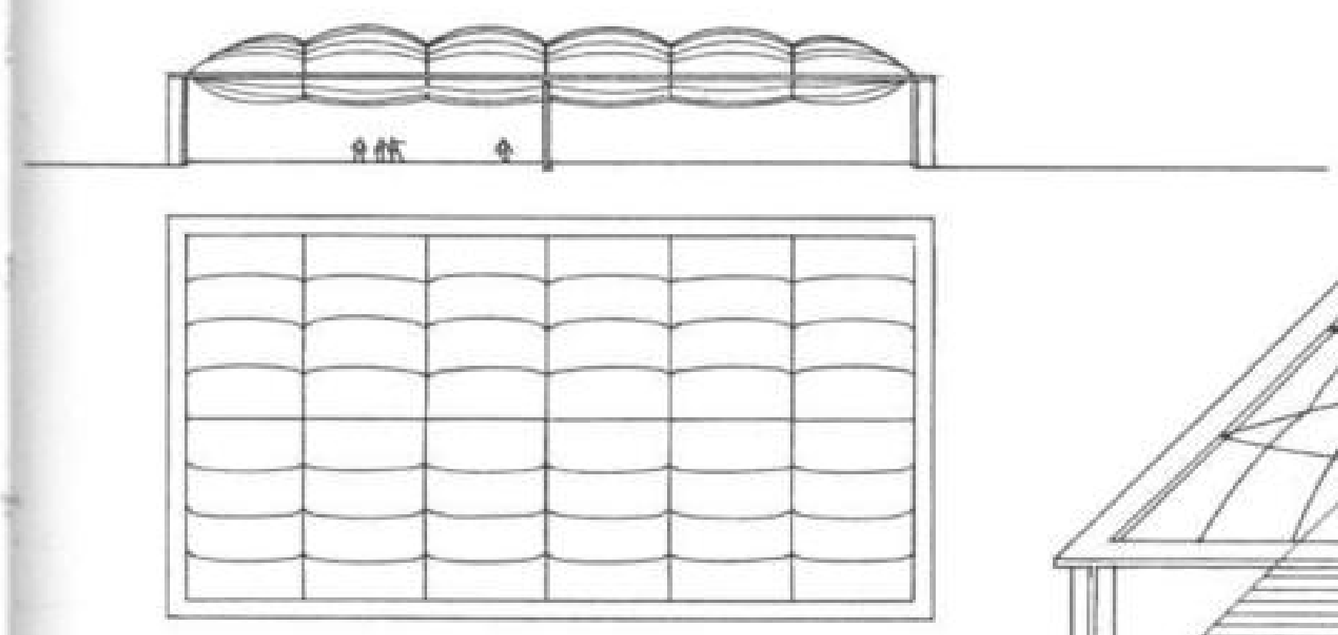
Sistema de múltiples cámaras con nervios y arcos a compresión como mecanismo de retención
Sistema de câmara múltipla com nervuras de membranas e arcos com mecanismos de retenção

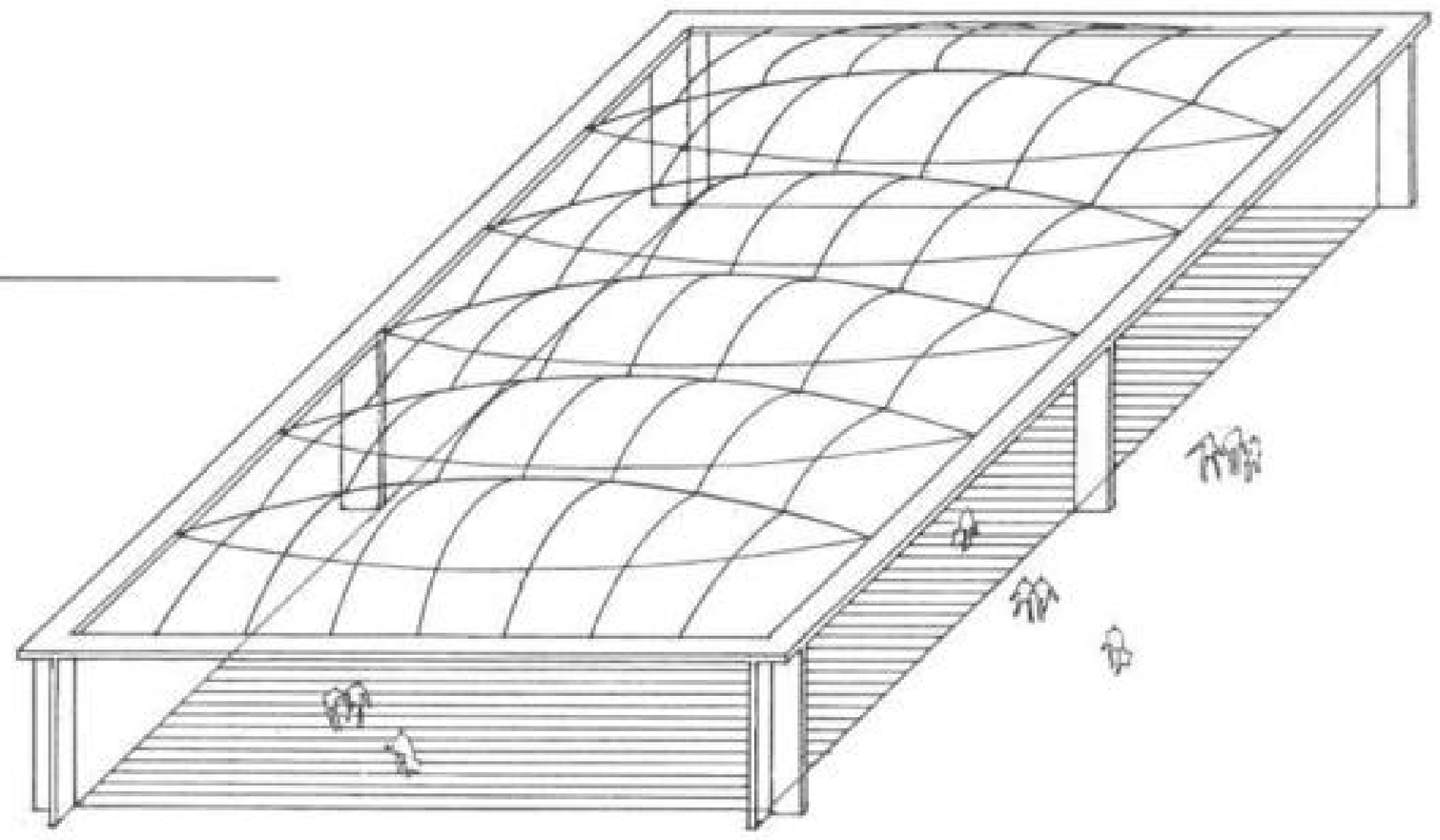
## Sistemas de colchones de aire / Sistemas de colchão de ar



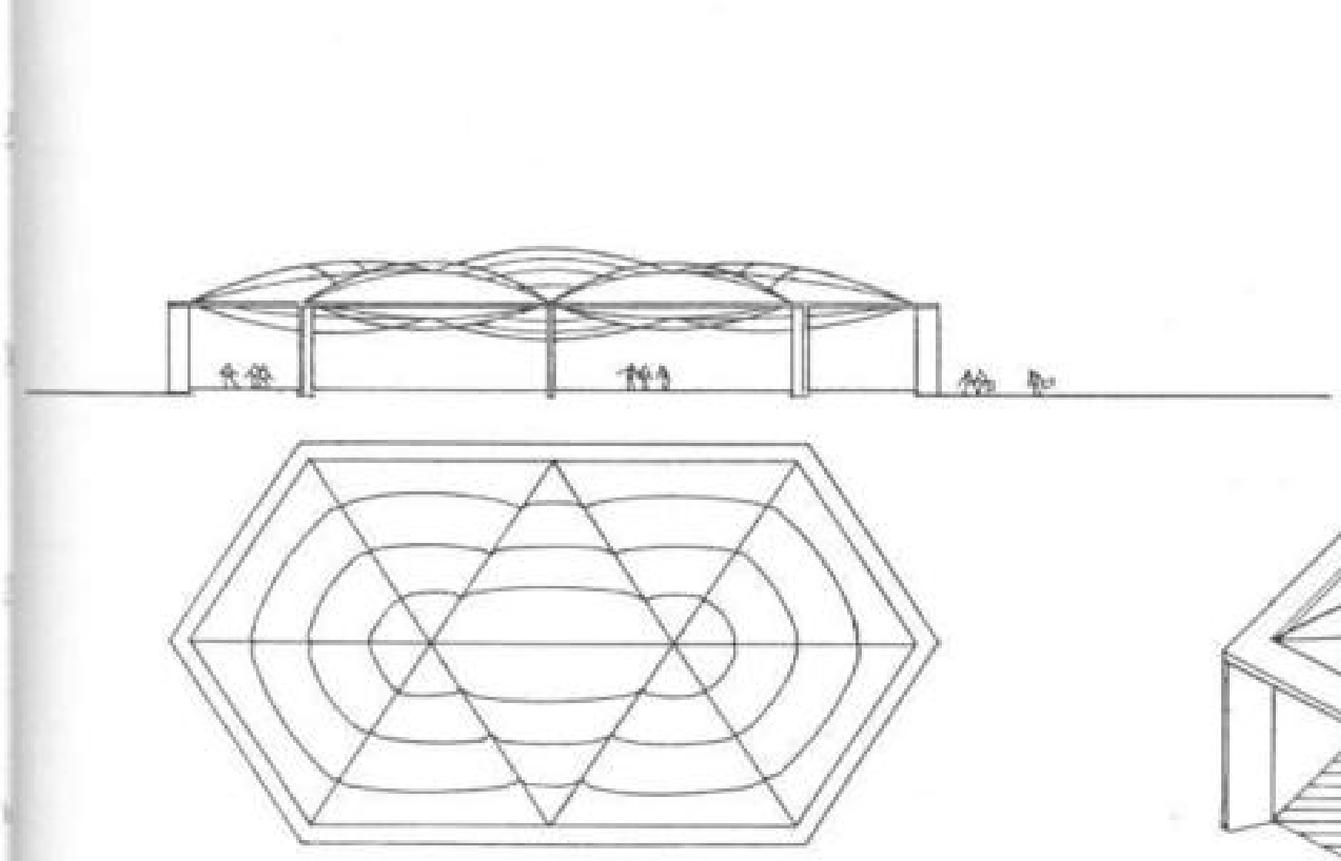


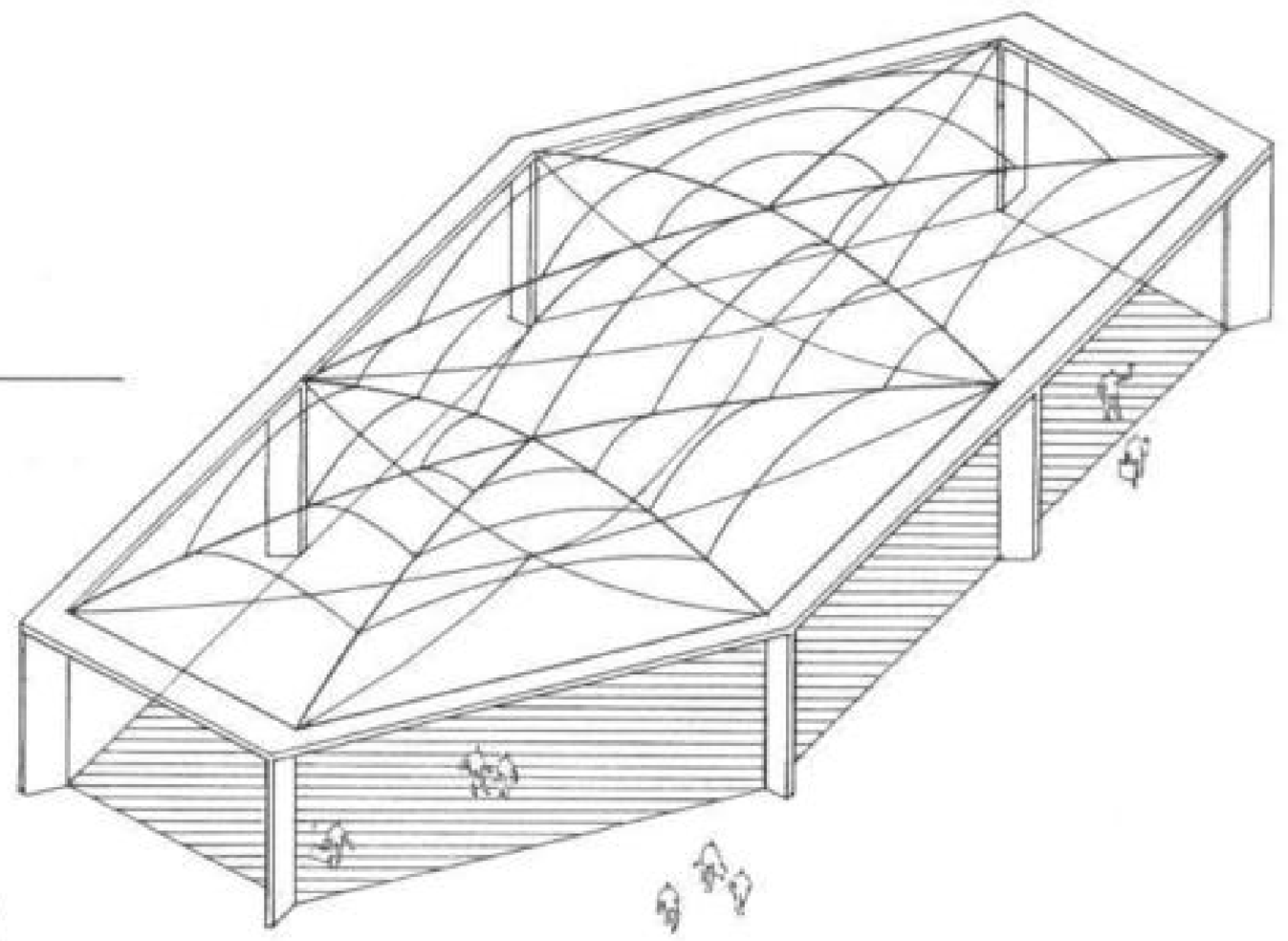
Membranas esféricas y cilíndricas como principales elementos portantes
Membranas esféricas e cilíndricas como principais elementos estruturais





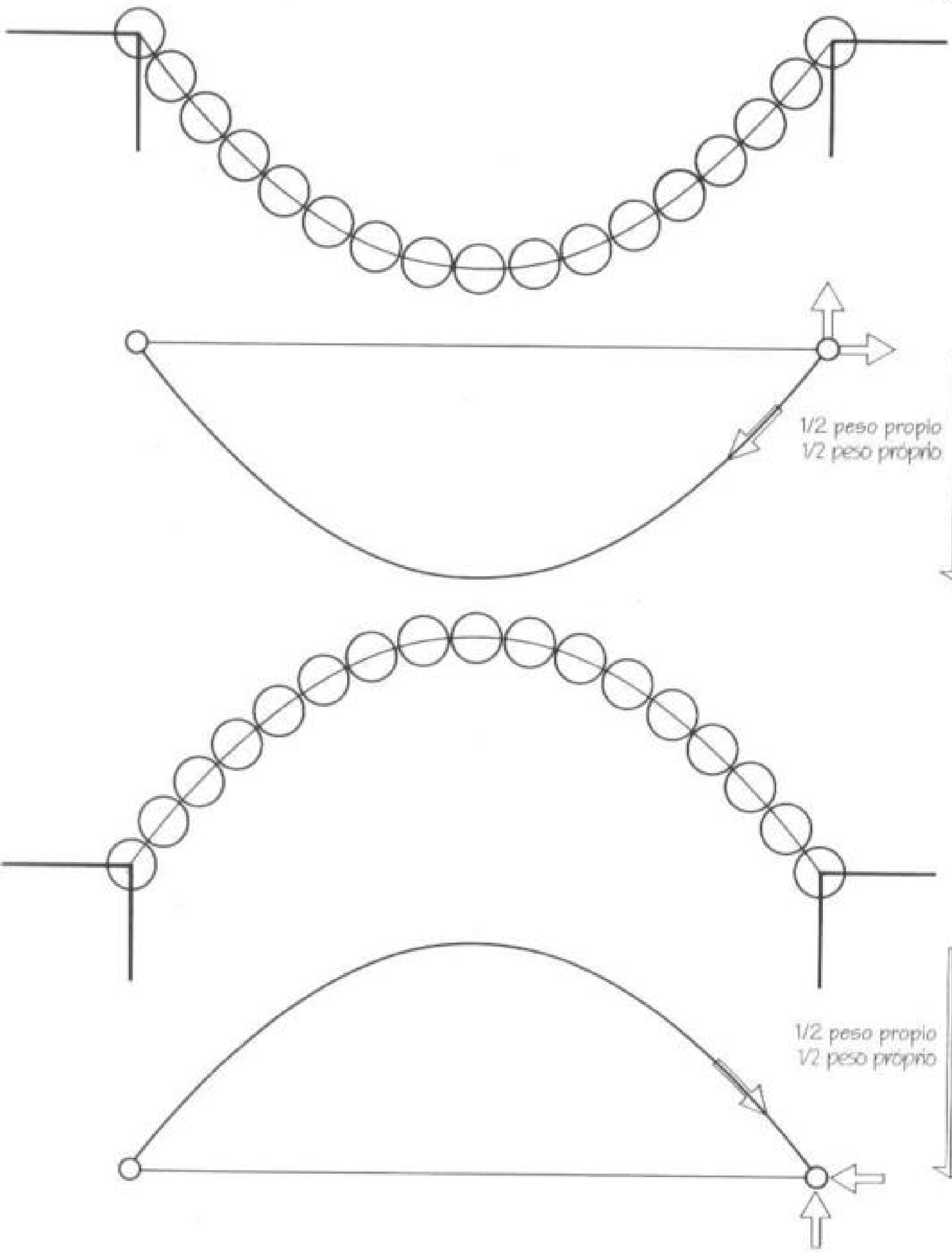
Membranas entre serie de cables dispuestos en paralelo
Membranas entre cabos de carga em fileiras





Segmentos de membrana entre cables oblicuos en una malla cruzada
Segmentos de membrana entre cabos de carga em modelo de rede obliqua

Cable portante y arco funicular: mecanismo portant
Cabo de suspensão e arco: mecanismo de sustentaçã




Cable portante — Cabo de suspensã

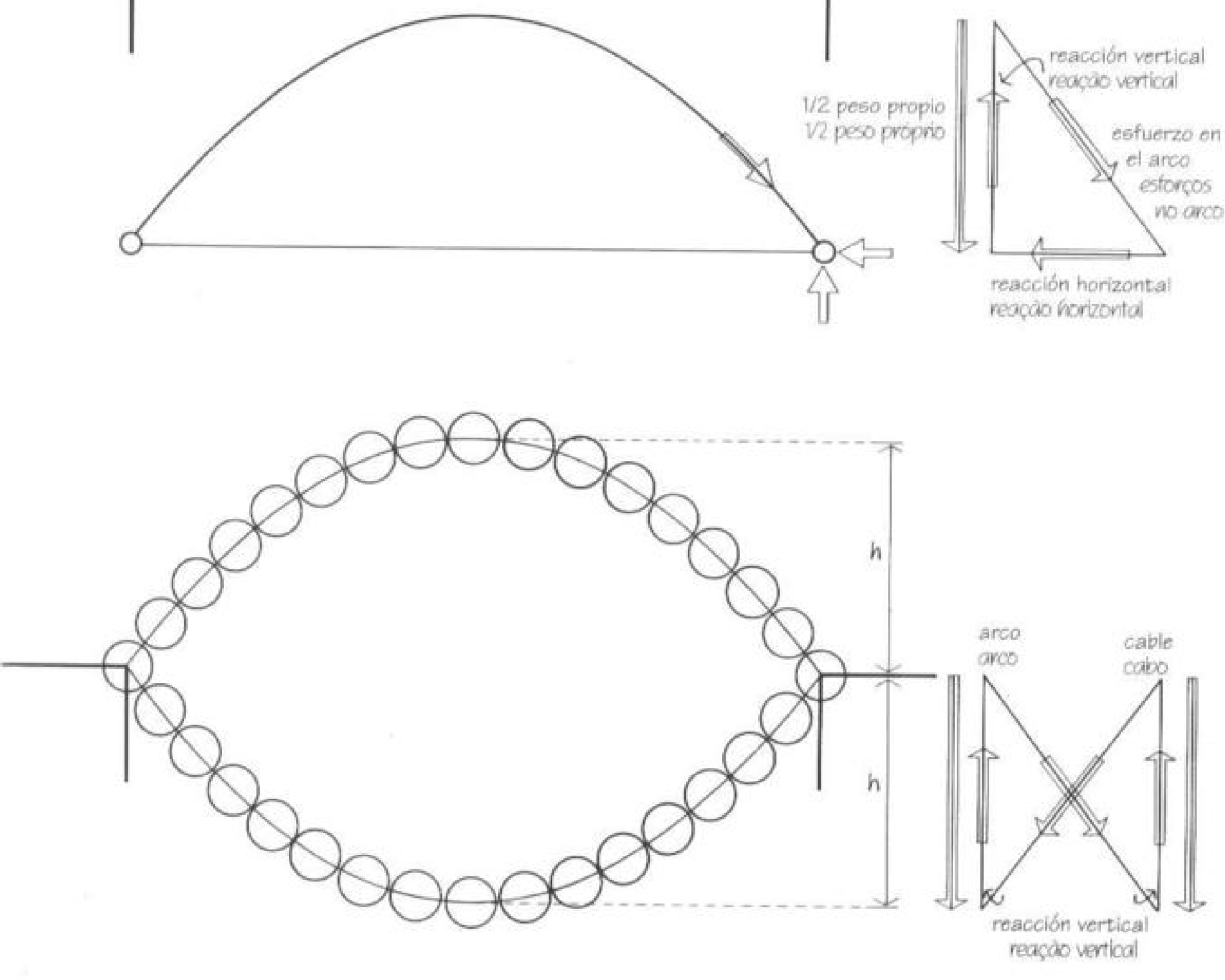
El cable portante sólo puede absorbe tracciones. Si sólo actúa su peso propi adopta la forma de una catenaria

O cabo de suspensão é capaz de desenvo ver apenas esforços de tração. Se atua apo nas seu peso próprio, adota a forma de um catenária

Arco funicular — Arco funicula

El "cable portante" invertido sólo absor be compresiones de la misma magnitu que el cable portante. La línea que adop ta un arco que sólo ha de soportar s peso propio es, por ello, la catenari invertida

O "cabo" invertido desenvolve apenas esfor ços de compressão da mesma grandez que os esforços de tração no cabo. A form funicular de um arco baixo solo peso próprio é, então, uma catenária invertida

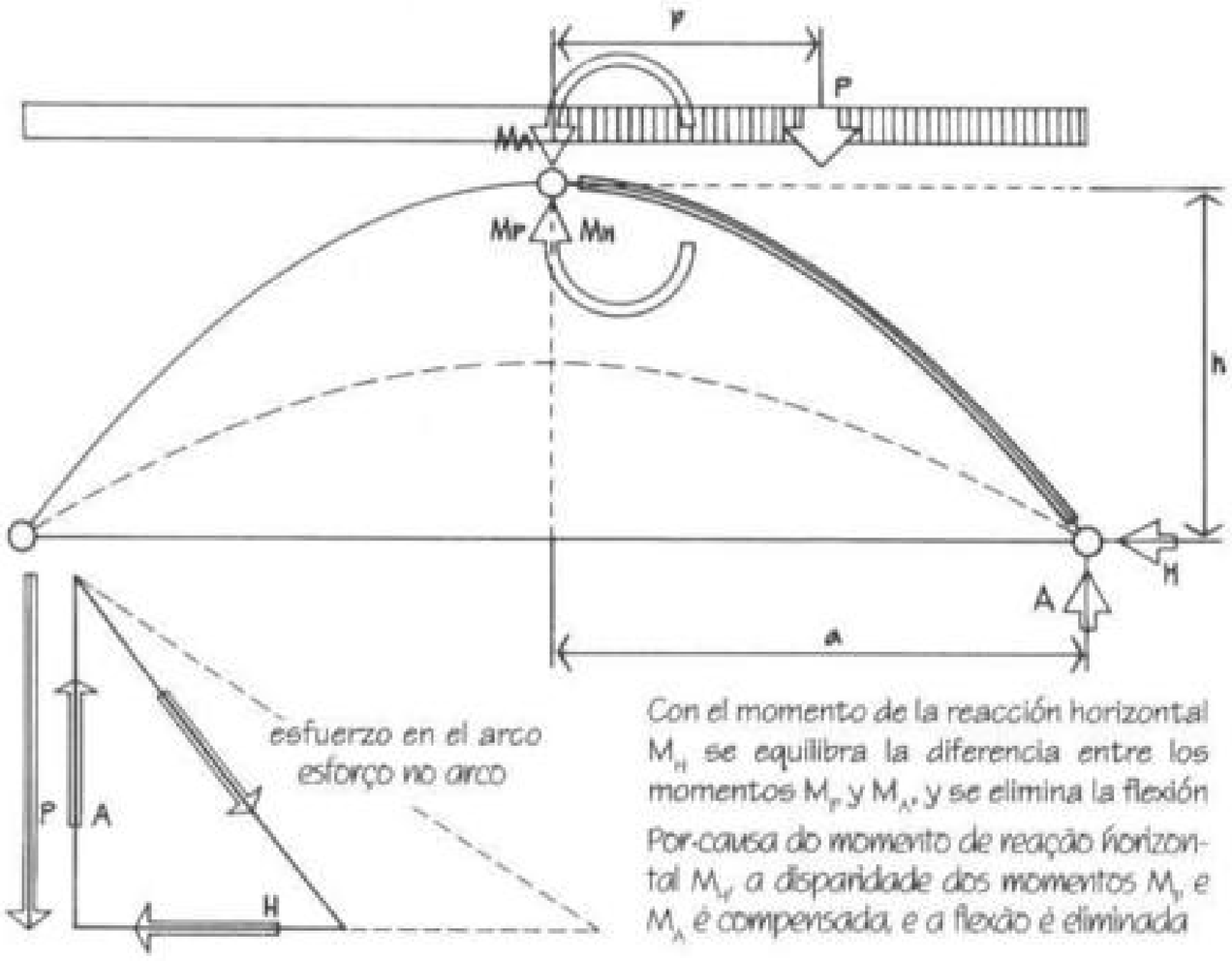



Combinación de arco funicular y cable portante
Combinação de arco e cabo de suspensão

La combinación de cable portante y arco funicular no provoca ninguna reacción horizontal, ya que las componentes horizontales de ambos son opuestas y se equilibran entre sí

A combinação de cabo e arco de suspensão não produz nenhuma reação horizontal, uma vez que os componentes horizontais de ambos possuem direções opostas e anulam-se

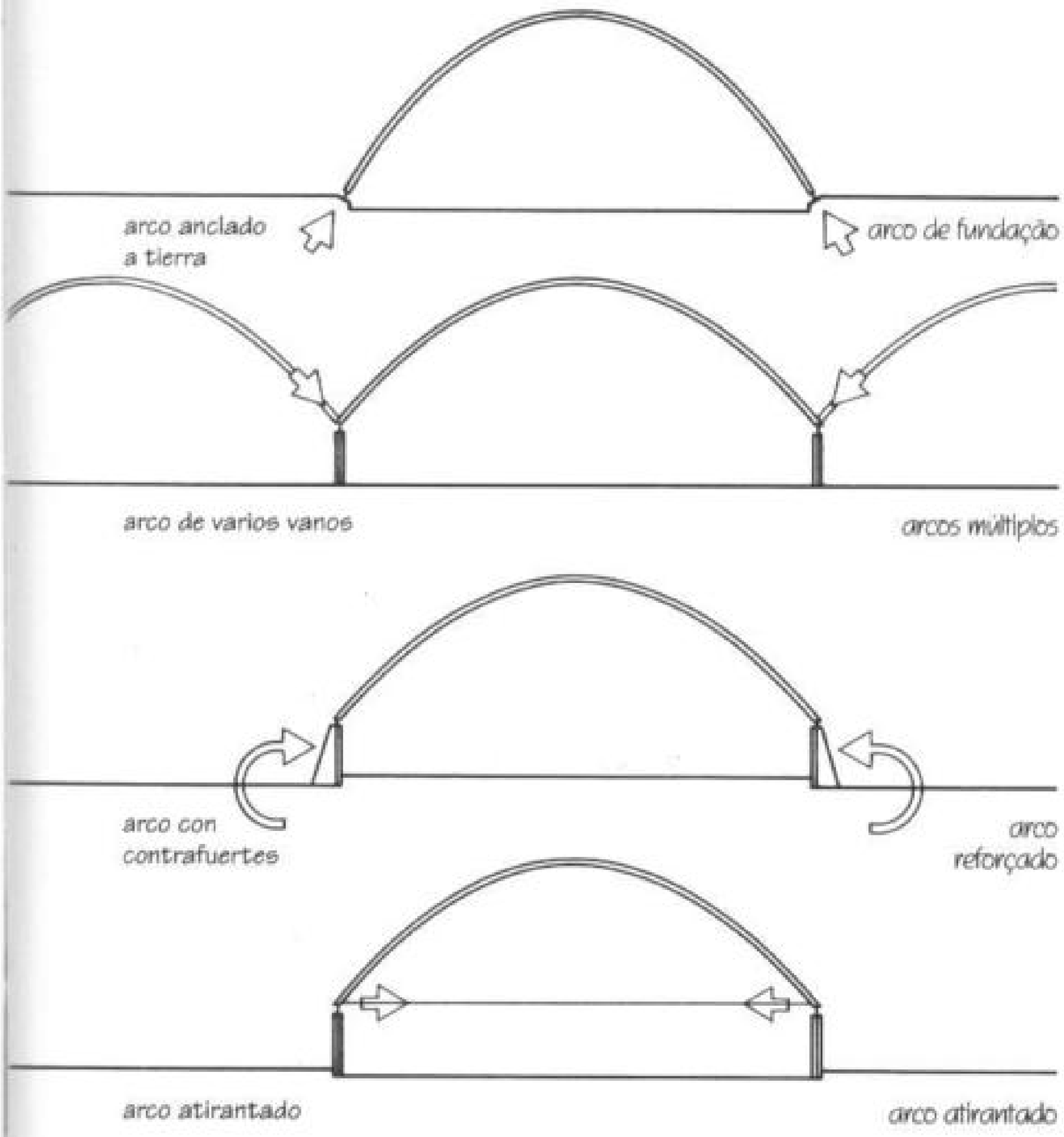
## Mecanismo de palanca del arco funicular
## Mecanismo de alavanca do arco funicular




Con el momento de la reacción horizontal $M_H$ se equilibra la diferencia entre los momentos $M_P$ y $M_A$, y se elimina la flexión

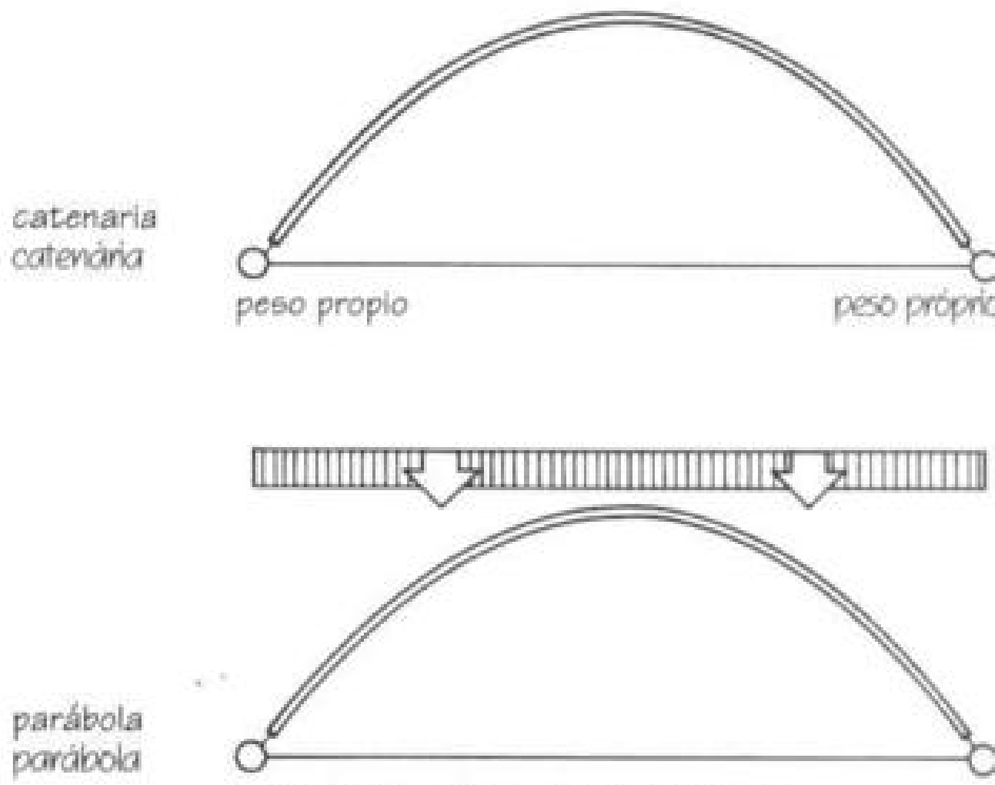
Por-causa do momento de reação horizontal $M_H$ a disparidade dos momentos $M_P$ e $M_A$ é compensada, e a flexão é eliminada

## Sistemas de arcos caracterizados por el tipo de absorción de empujes horizontales
## Sistemas de arcos caracterizados pelo método da resistência de empuxo horizontal




## Formas geométricas
## Formas geométricas

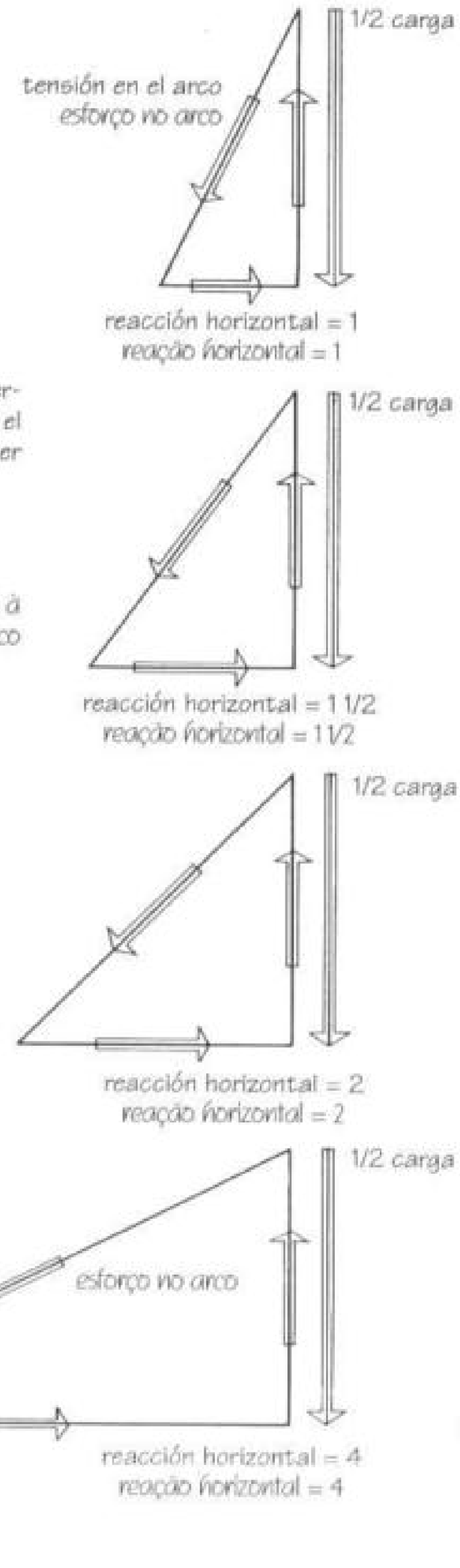
en función del estado de cargas / dependência da condição de carg

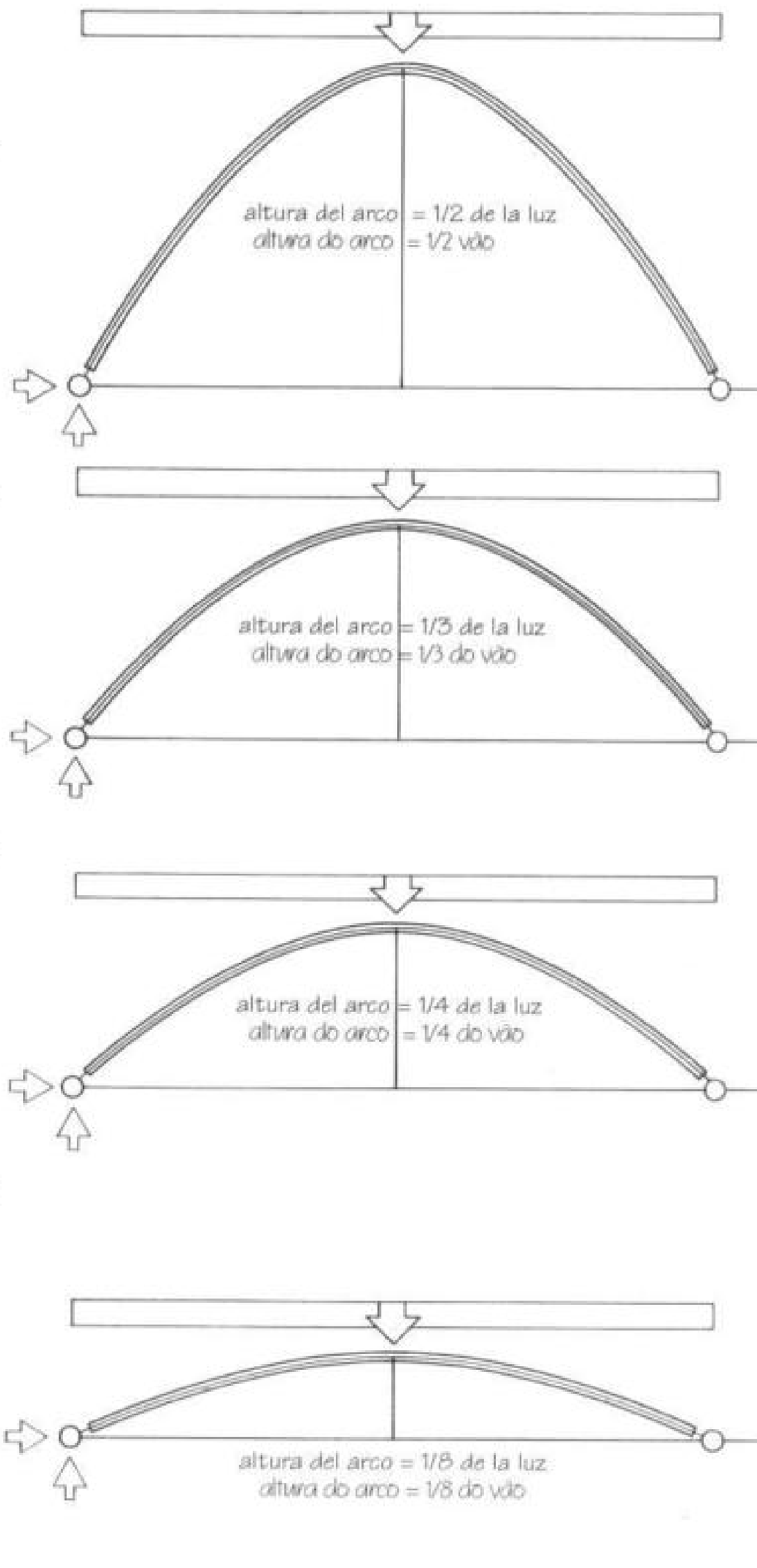


## Influencia de la altura del arco en las reacciones en los puntos de apoyo
## Influência da altura do arco nos esforços dos apoios

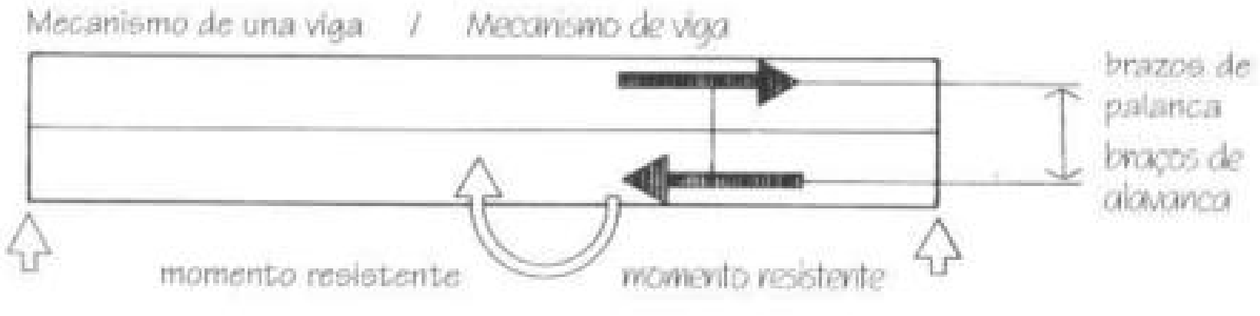
El empuje horizontal de un arco funicular es inversamente proporcional a su altura. Para reducir el empuje horizontal en los apoyos, el arco debería ser lo más alto posible

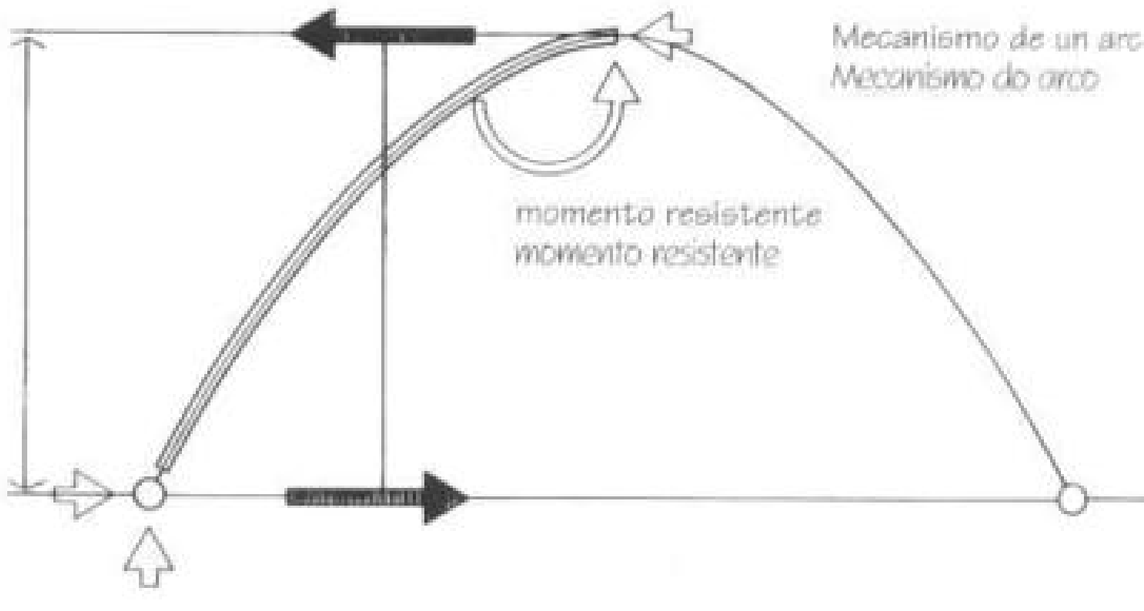
O empuxo de um arco é inversamente proporcional à sua altura. Para reduzir o empuxo, a altura do arco deve ser a maior possível




## Comparación entre el mecanismo de una viga y de un arco
## Comparação entre o mecanismo de viga e o mecanismo de arco



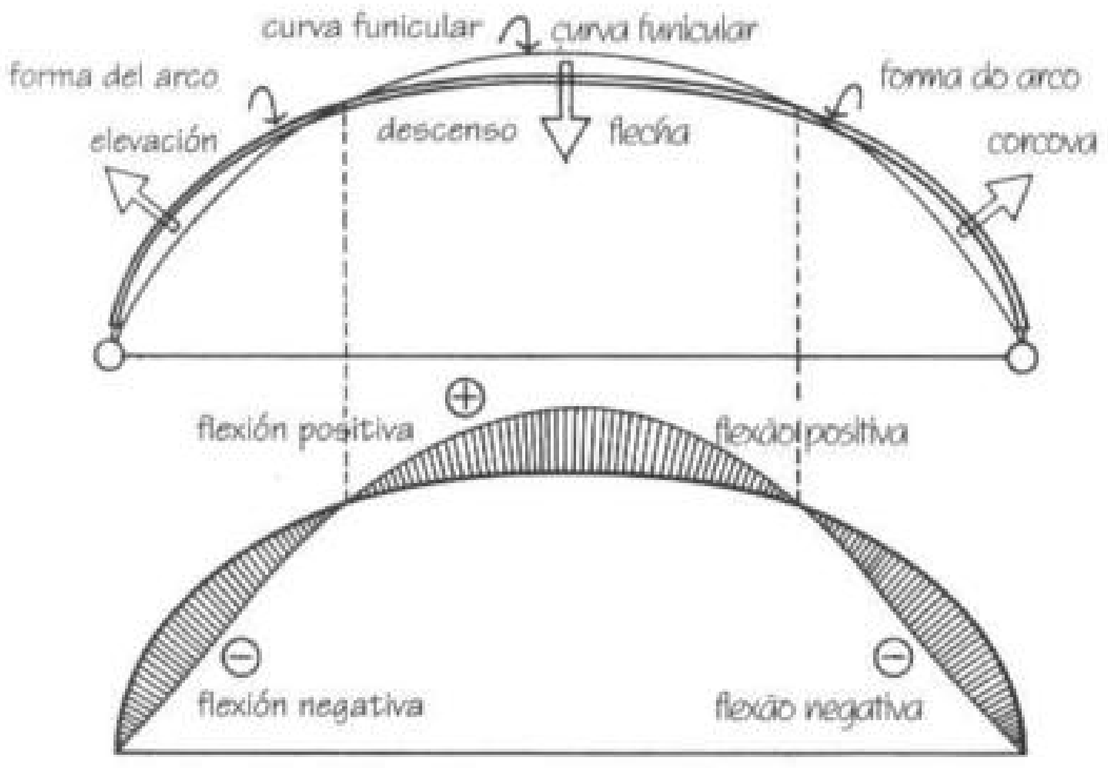
Relaciones entre cable suspendido y arco funicular

Relações entre cabo de suspensão e arco funicula

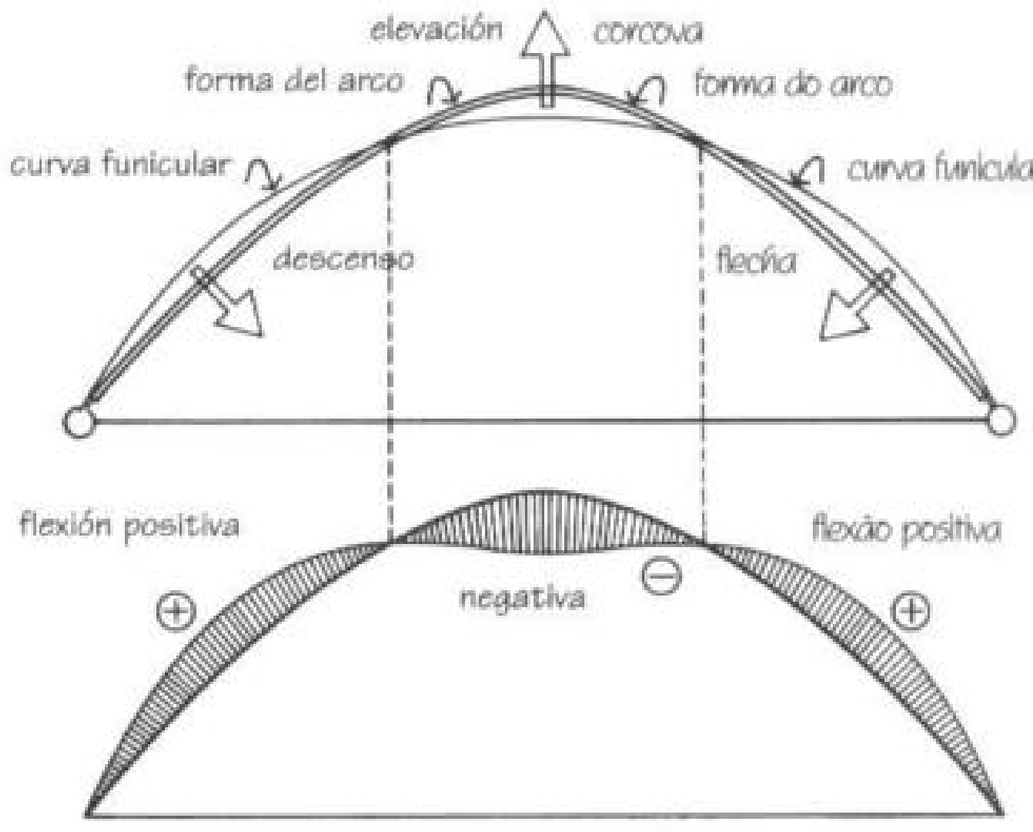
Cable suspendido
Sistemas de suspensão

Arco funicul
Sistemas de arco funicul

Flexión debida al desplazamiento de la línea media del arco de la curva funicular

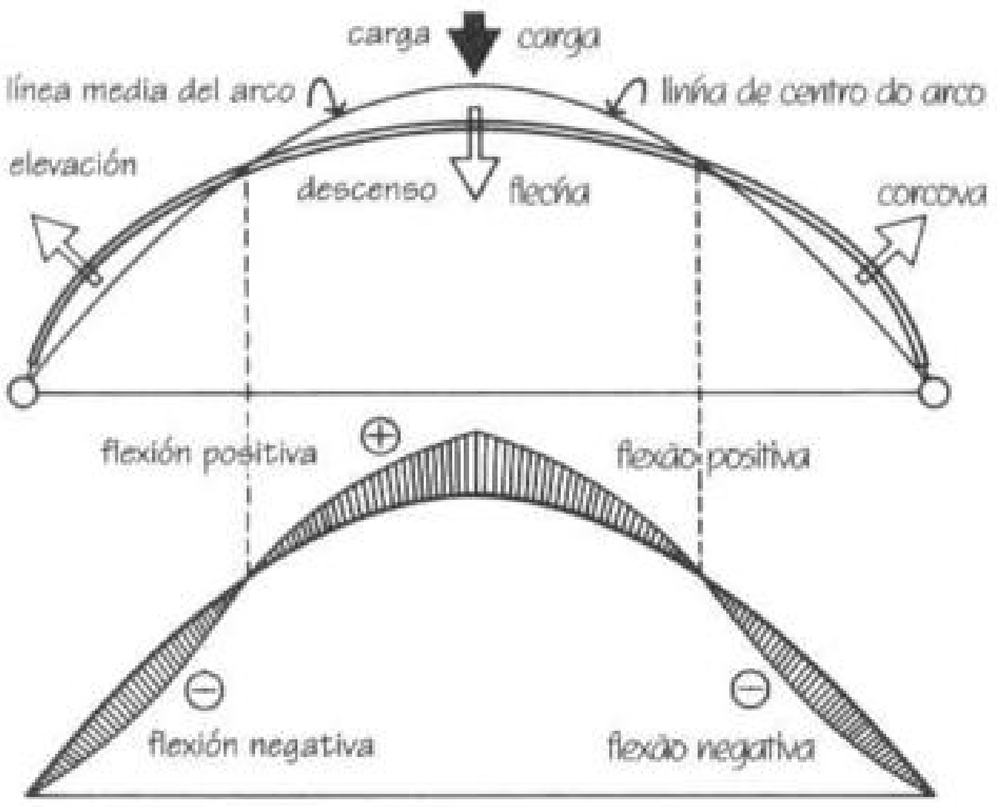



Flexão devida ao desvio da linha de centro da curva funicular

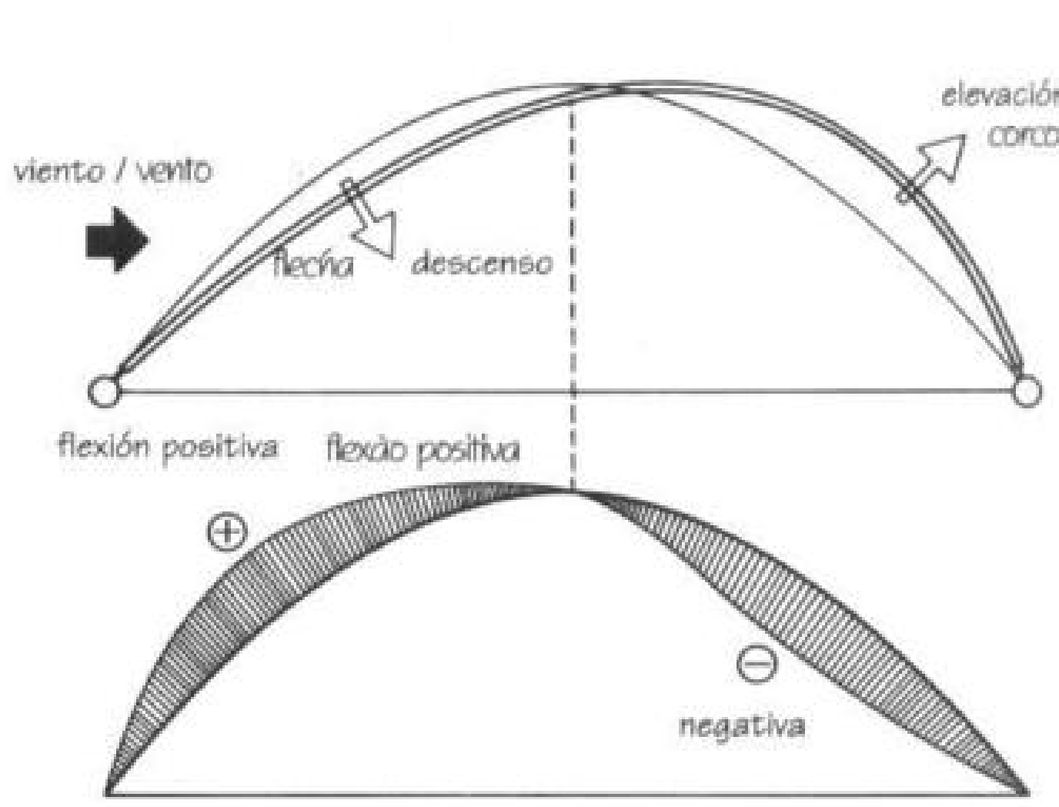



Cualquier desplazamiento de la línea media del arco de la curva funicular provoca una elevación o un descenso del arco, y con ello una flexión
Qualquer desvio da linha de centro do arco com relação à linha de compressão funicular causará tanto flecha quanto corcova do arco, originando flexão em ambos os casos

Flexión debida a la aparición de cargas adicionales tanto horizontales como verticales

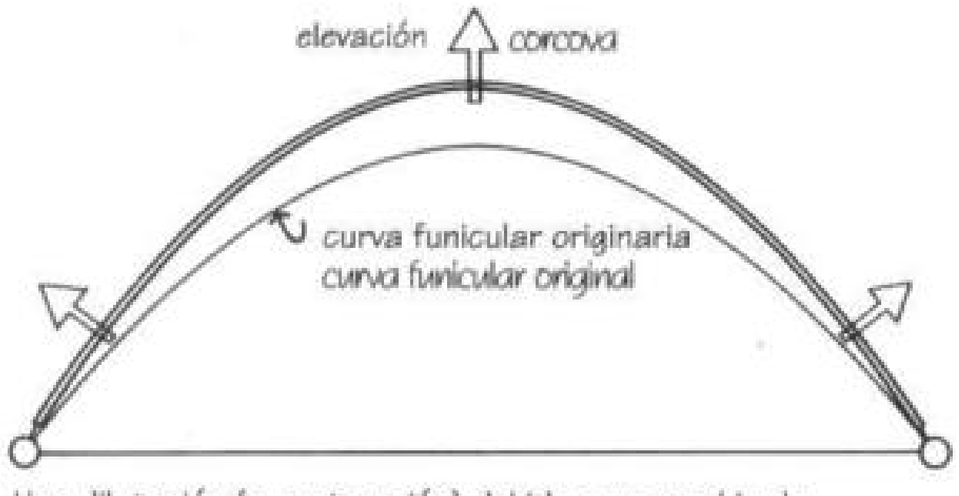



Flexão devida a uma carga adicional, vertical ou horizontal



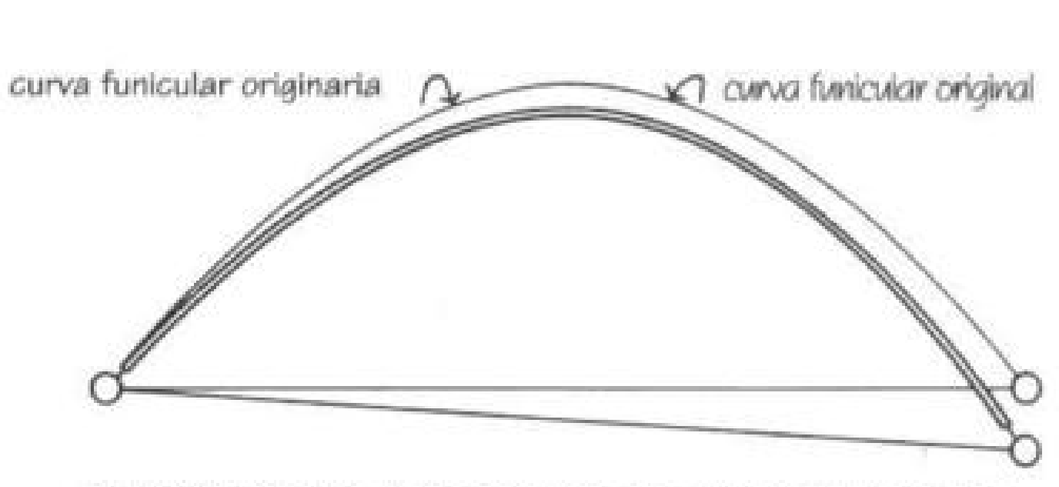

Cualquier carga adicional provoca una modificación en la forma del arco y con ello su línea media se aparta de la curva funicular, provocando una flexión
Qualquer carga adicional causará deformação do arco e conseqüentemente desvio da linha funicular de compressão, resultando em flexão

Cambios térmicos / Variações térmicas




Una dilatación (o contracción) debido a un cambio de temperatura provoca flexión
A dilatação (contração) devido a variações térmicas provoca flexão

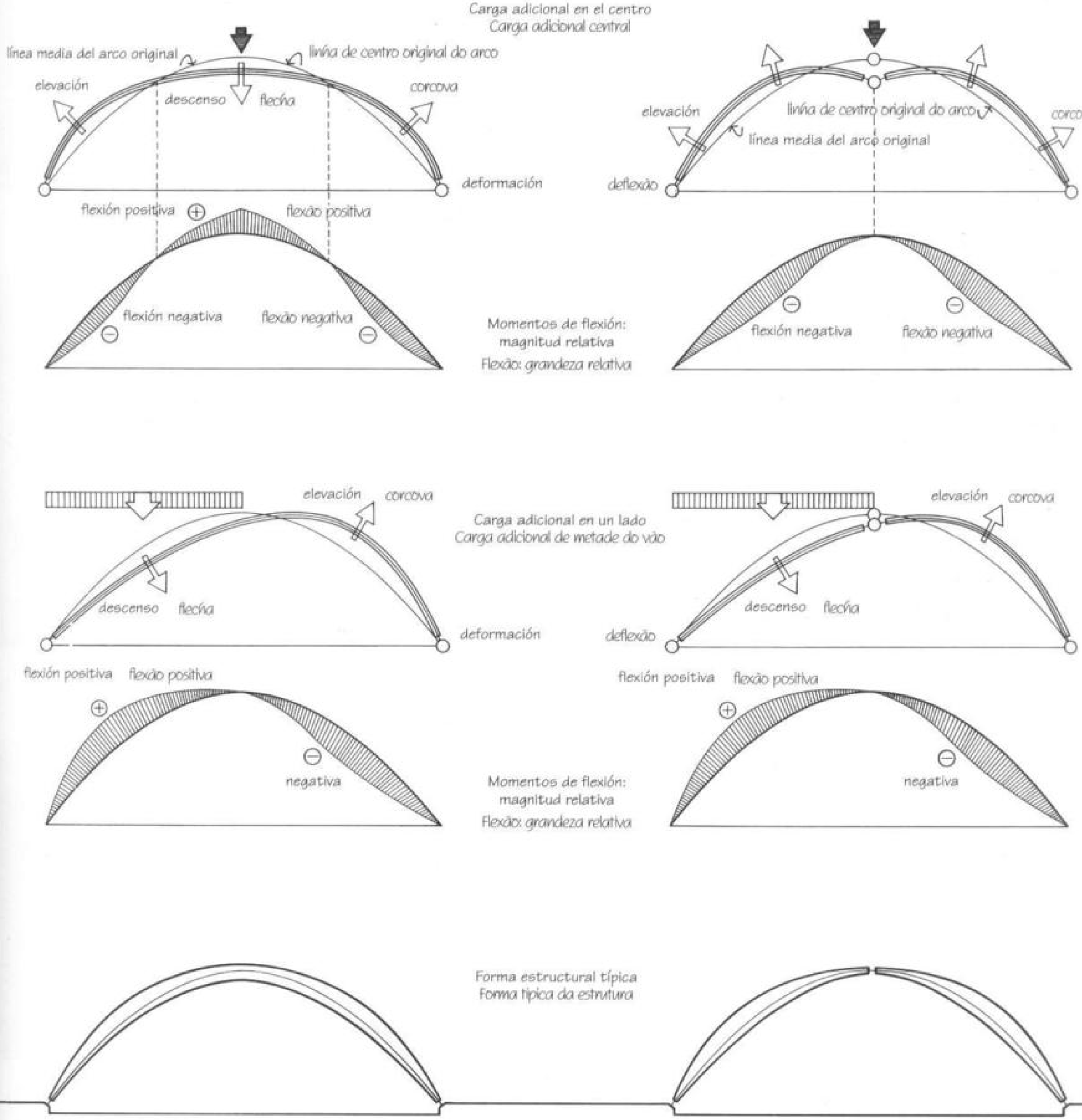
Asientos de la cimentación / Posição das fundações




El desplazamiento de las sobrecargas a causa de un asiento diferencial origina flexión
Carga diferente causada por assentamento desigual produz flexão

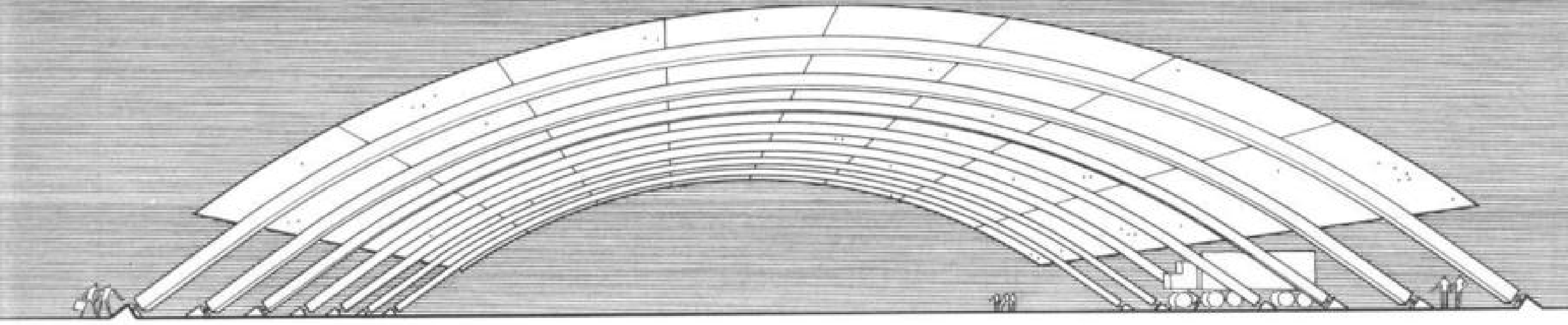
## Comparación entre los arcos biarticulados y los arcos triarticulados

## Comparação entre arco biarticulado e arco triarticulado



Estructuras de grandes luces con arcos biarticulados

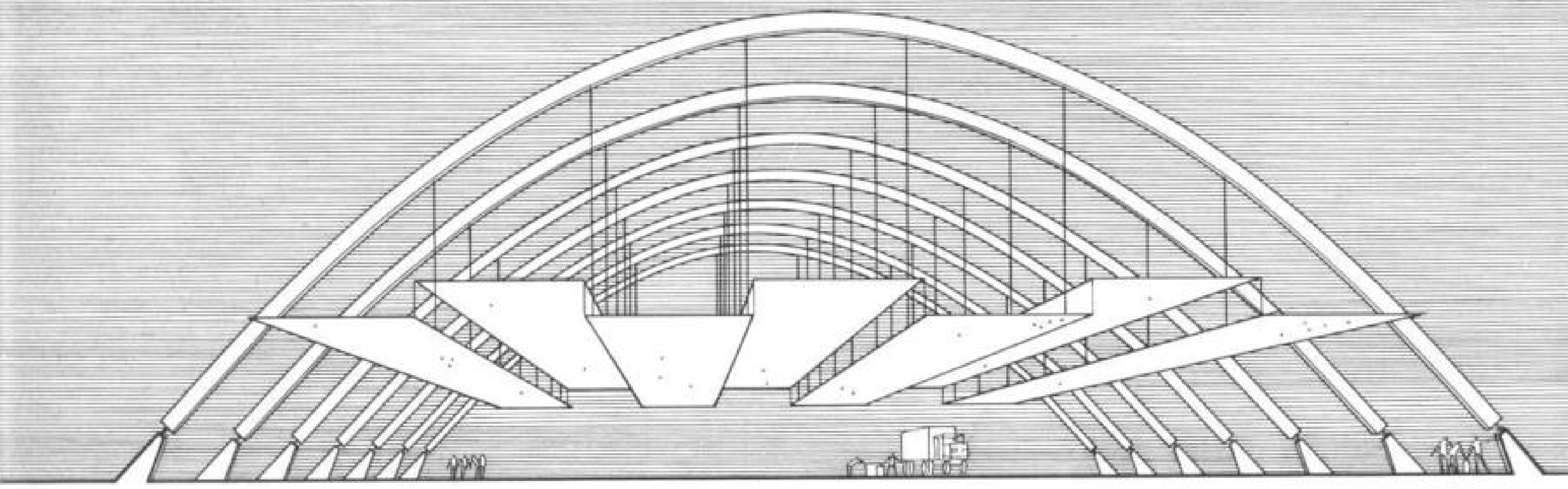
Sistemas estruturais de grandes vãos com dois arcos biarticulados



Arcos anclados a tierra con una cubierta curva apoyada encima
Arcos de fundação com estrutura de teto curvo

forma de la curva funicular: catenaria
curva funicular: catenária

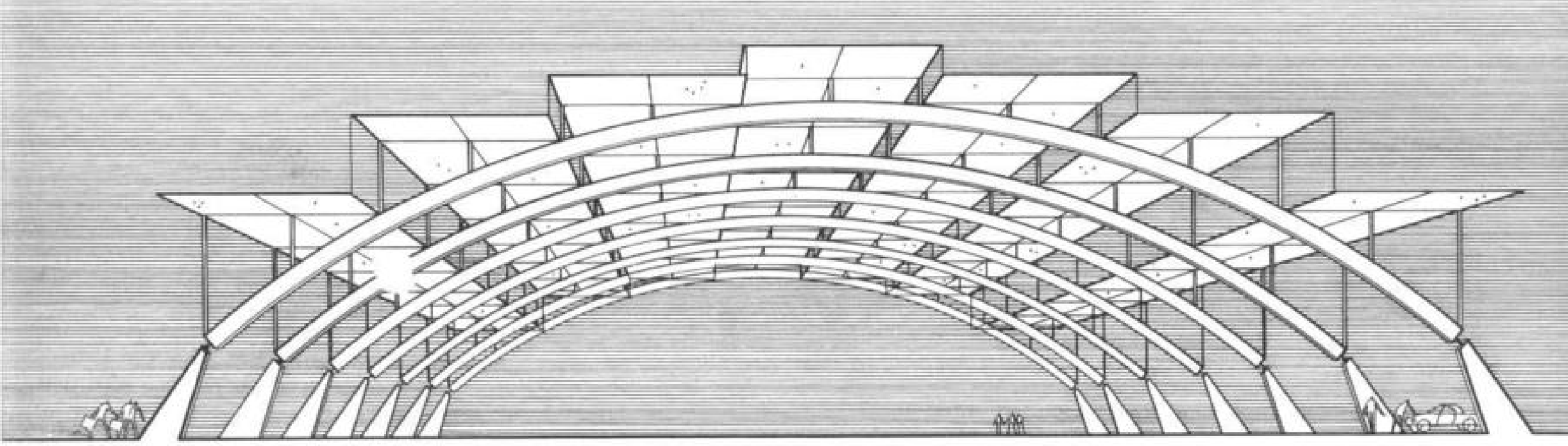
altura del arco = 1/5 de la luz
altura do arco = 1/5 do vão



Arcos apoyados en contrafuertes con una cubierta plana suspendida
Arcos em contraforte com estrutura de teto suspenso horizontal

forma de la curva funicular: polígono parabólico
curva funicular: polígono parabólico

altura del arco = 1/3 de la luz
altura do arco: 1/3 do vão



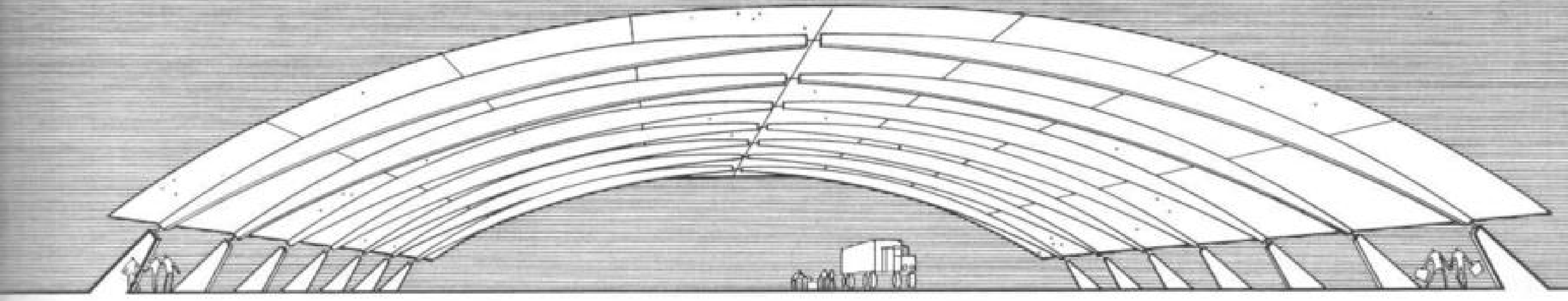
Arcos apoyados en contrafuertes con una cubierta plana apoyada encima
Arcos em contraforte suportando estrutura de teto horizontal

forma de la curva funicular: polígono parabólico
curva funicular: polígono parabólico

altura del arco = 1/5 de la luz
altura do arco = 1/5 do vão

## Estructuras de grandes luces con arcos triarticulados

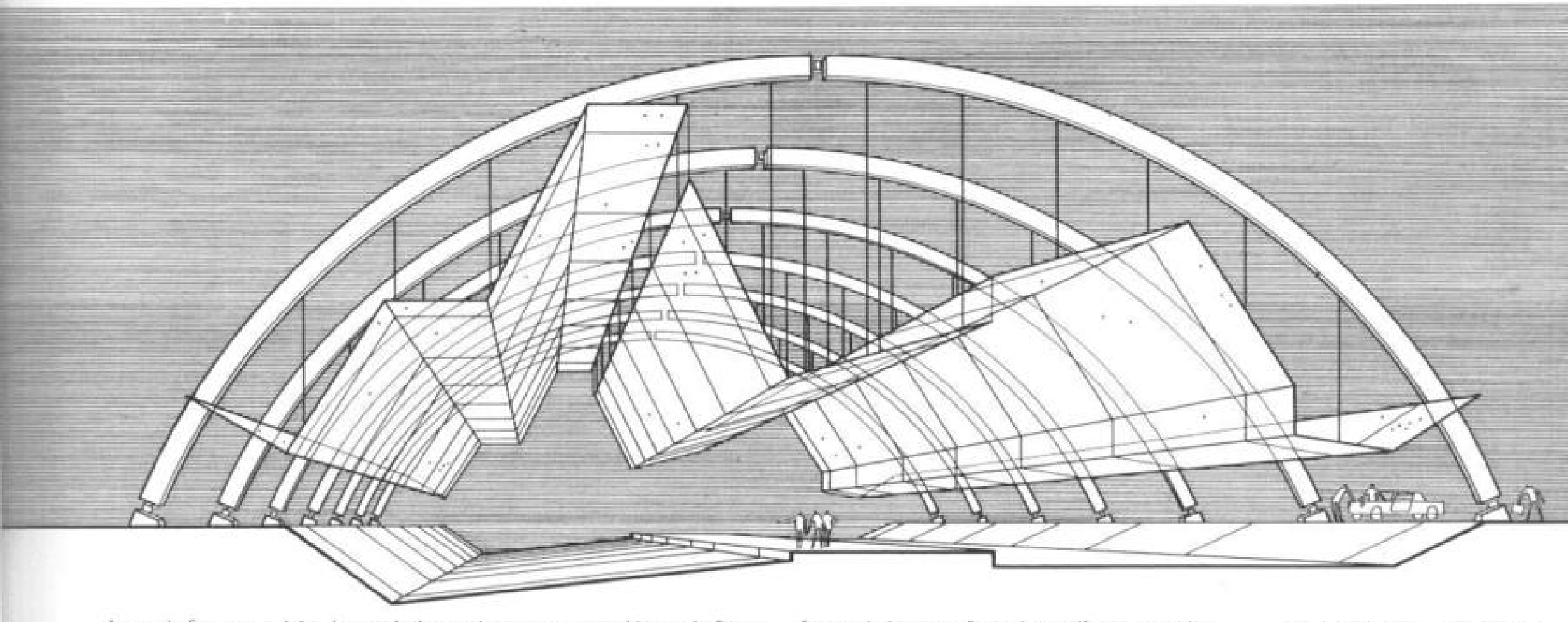
## Sistemas estruturais de grandes vãos com arcos triarticulados



Arcos apoyados en contrafuertes con una cubierta curva apoyada encima
Arcos em contraforte com estrutura de teto curvo

forma de la curva funicular: catenaria
curva funicular: catenária

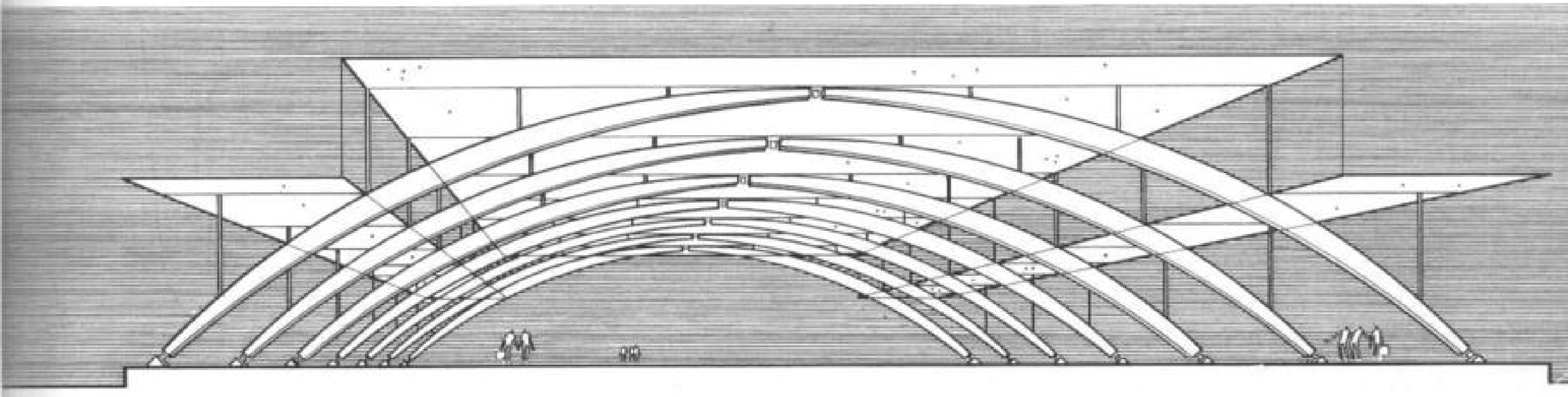
altura del arco = 1/7 de la luz
altura do arco = 1/7 do vão



Arcos de forma semicircular anclados a tierra con una cubierta de forma libre suspendida
Arcos de fundação segmentados com estrutura de teto de forma livre

forma de la curva funicular: polígono irregular
curva funicular: polígono irregular

altura del arco = 1/3 de la luz
altura do arco = 1/3 do vão



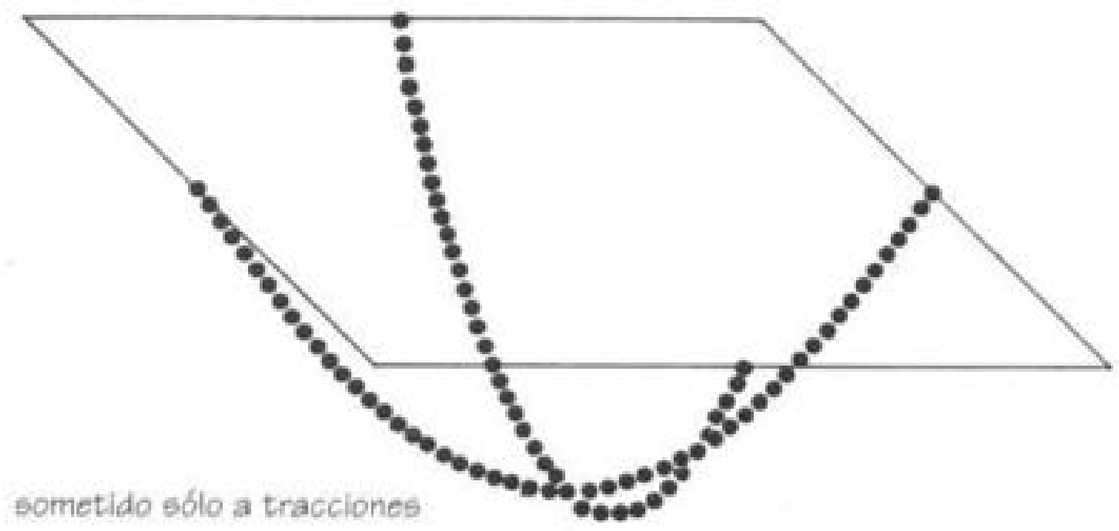
Arcos anclados a tierra con una cubierta plana apoyada encima
Arcos de fundação suportando estrutura de teto horizontal

forma de la curva funicular: polígono parabólico
curva funicular: polígono parabólico

altura del arco = 1/5 de la luz
altura do arco = 1/5 do vão

## Fundamentos de los sistemas tridimensionales de retículas abovedadas

Mecanismo de soporte y forma estructural como sistema de suspensión invertido



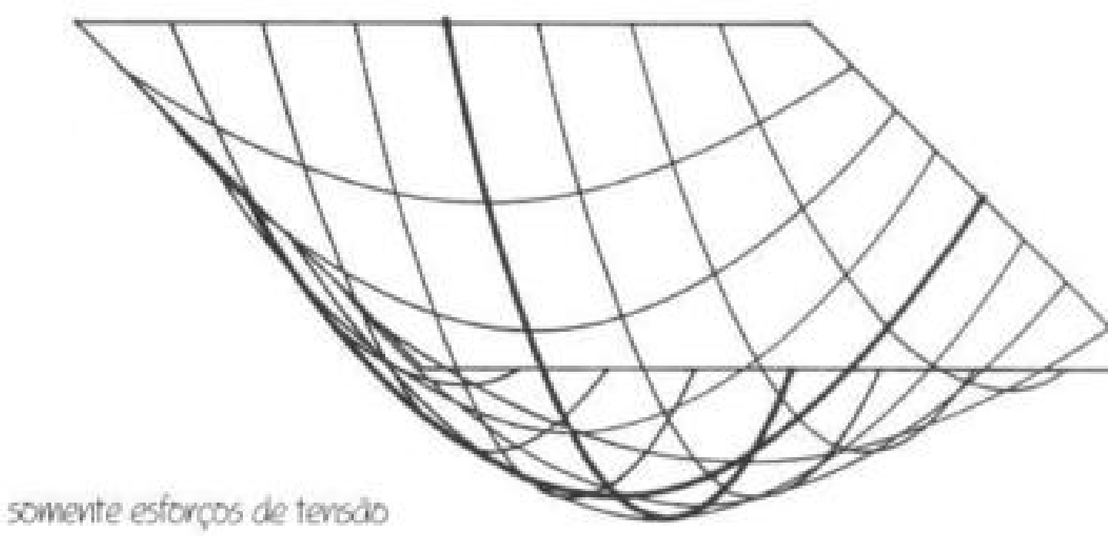
sometido sólo a tracciones

sometido sólo a compresiones

Transmisión tridimensional y cubrición del espacio mediante el cruce de dos arcos funiculares (o cables suspendidos) según dos ejes

## Bases de sistemas de reticula abobadad tridimensio

Mecanismo de suporte e forma de estrutura como sistema de suspensão inver



somente esforços de tensão

somente esforços de compressão

Transmissão de carga tridimensional e cobertura de vão através da interseção de dois arcos funiculares (alternativamente cabos de suspensão) em dois eixes

Formación de una estructura reticular cuadrangular mediante alineación paralelo e interpenetración de los arcos funiculares (o de suspensión)

Formação de modelo de malha quadrangular através de justaposição paralel interseção de arcos funiculares (alternativamente suspensão)

## Esfuerzos en los soportes de la malla suspendida y en la apoyada

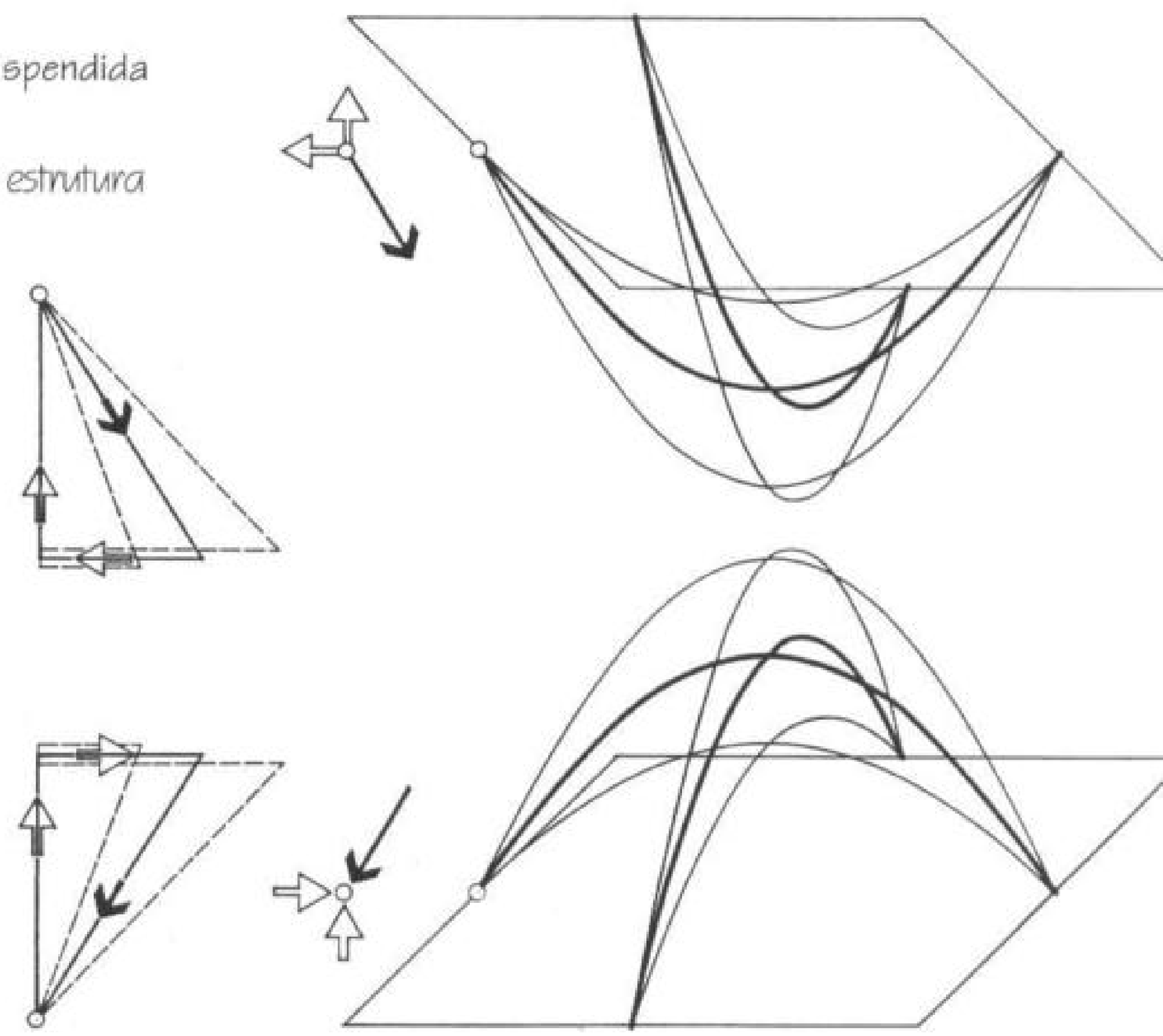
## Forças nos suportes de rede de suspensão e estrutura de empuxo

La forma óptima del arco sometido exclusivamente a su peso propio es la curva funicular (línea de compresiones). El arco funicular es la forma inversa de la catenaria (línea de suspensión).

Las reacciones que aparecen en los soportes de las retículas abovedadas responden a los esfuerzos en la malla suspendida. Es decir, los esfuerzos de los arcos y el empuje horizontal son inversamente proporcionales a la altura del arco.

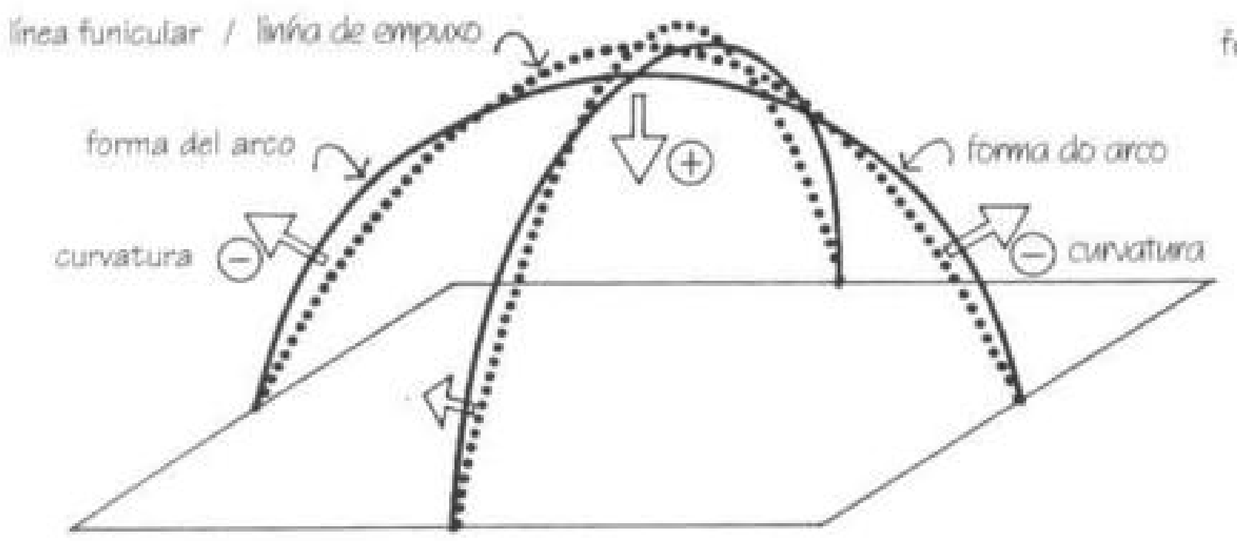
A forma ótima de arco submetido ao peso próprio é o arco funicular (linha de empuxo). O arco funicular é a catenária invertida.

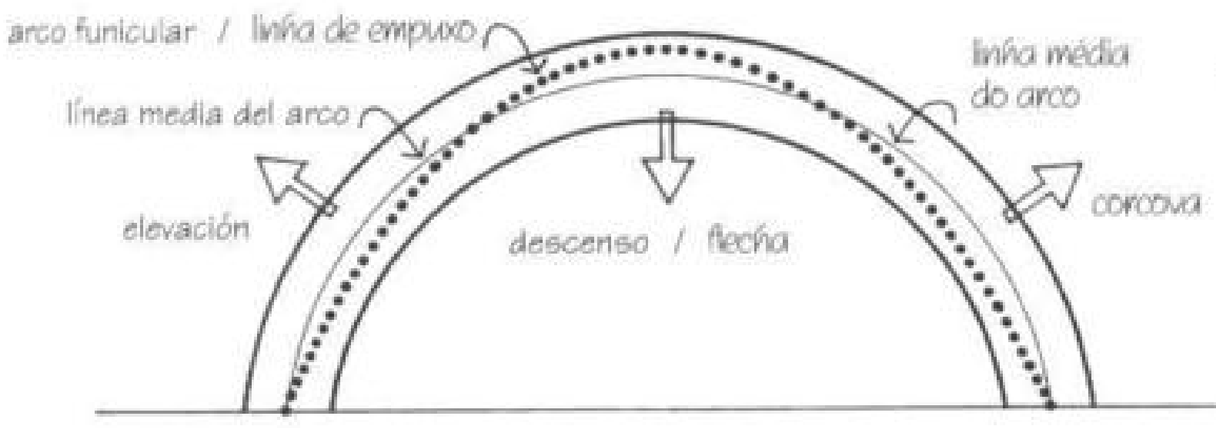
As forças agindo nos suportes da estrutura de empuxo combinam-se com as forças da rede de suspensão, isto é, a força do arco e o empuxo horizontal são inversamente proporcionais à elevação do arco.



## Esfuerzos de flexión en una retícula abovedada

Desviación del arco funicular / Desvio da liña funicular de empuxo



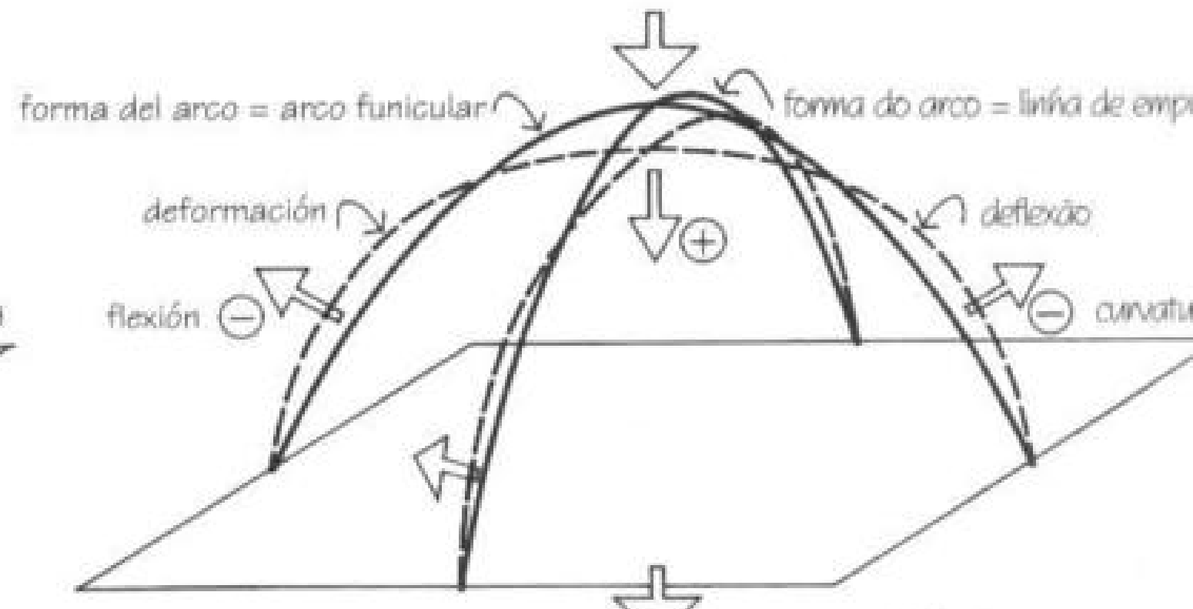



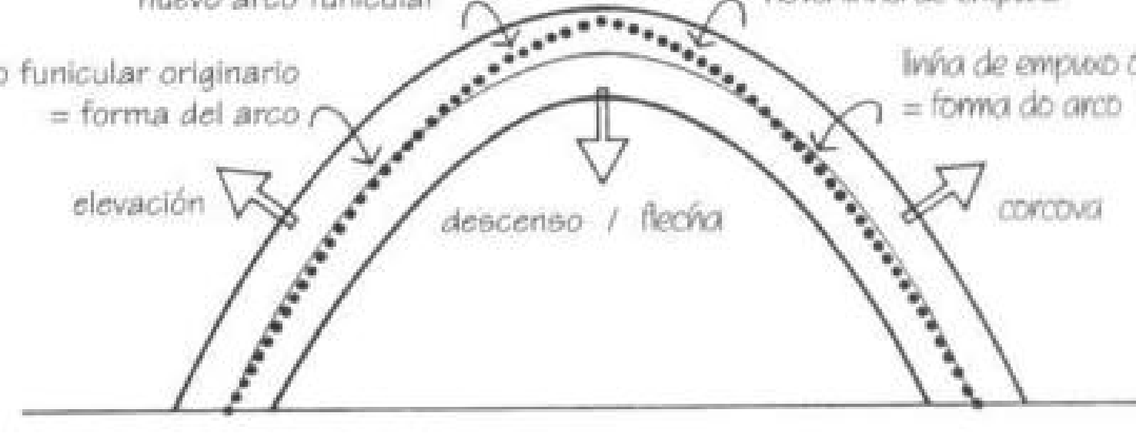

La desviación de la línea media del arco funicular origina esfuerzos perpendiculares al eje y con ello crea esfuerzos de flexión en la sección del arco

O desvio da liña média do arco da liña de empuxo produz forças normais ao eixo e portanto tensões de curvatura na seção do arco

## Tensão de curvatura em reticulas abobadadas

Carga adicional / Carga adicion



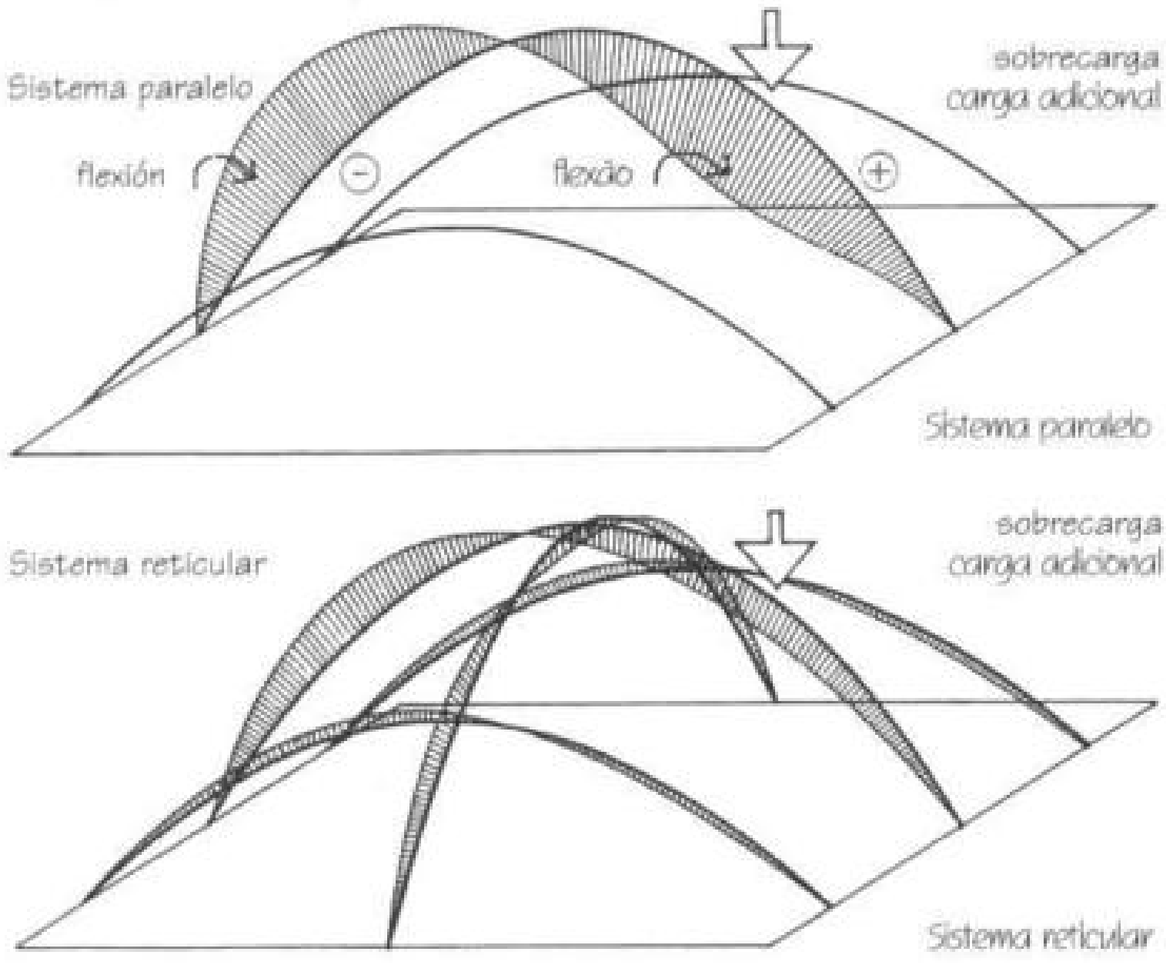




Bajo sobrecargas, el arco funicular ya no responde al nuevo estado de carga. En el arco aparecen tensiones de flexión.

Baixo carga adicional a forma do arco funicular reage à nova condição de carg resultando na dobra da seção do arco

## Mecanismo de resistencia de la retícula abovedada sometida a sobrecargas

Diferencia entre sistemas paralelos y sistemas reticulares con cargas puntuales
Diferença entre o sistema paralelo e sistema reticular sobre pontos de carga

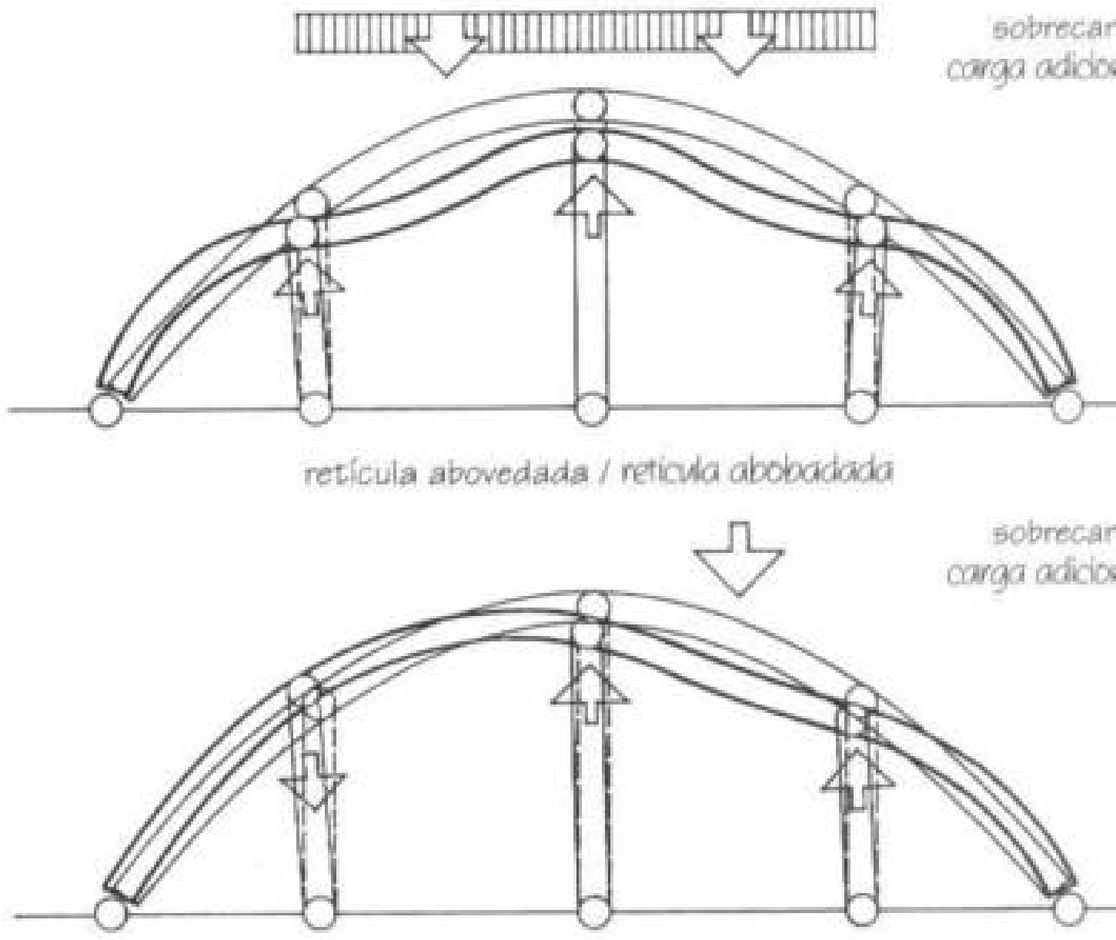



Debido a la interpenetración cruzada con uniones rígidas, los arcos que no soportan cargas también participan en el mecanismo de resistencia frente a las deformaciones

Por causa da interseção transversal e conexões rígidas, os arcos sem carga são também desenhados com resistência mecânica contra deformações

## Resistência mecânica da reticula abobadada bai carga adicion

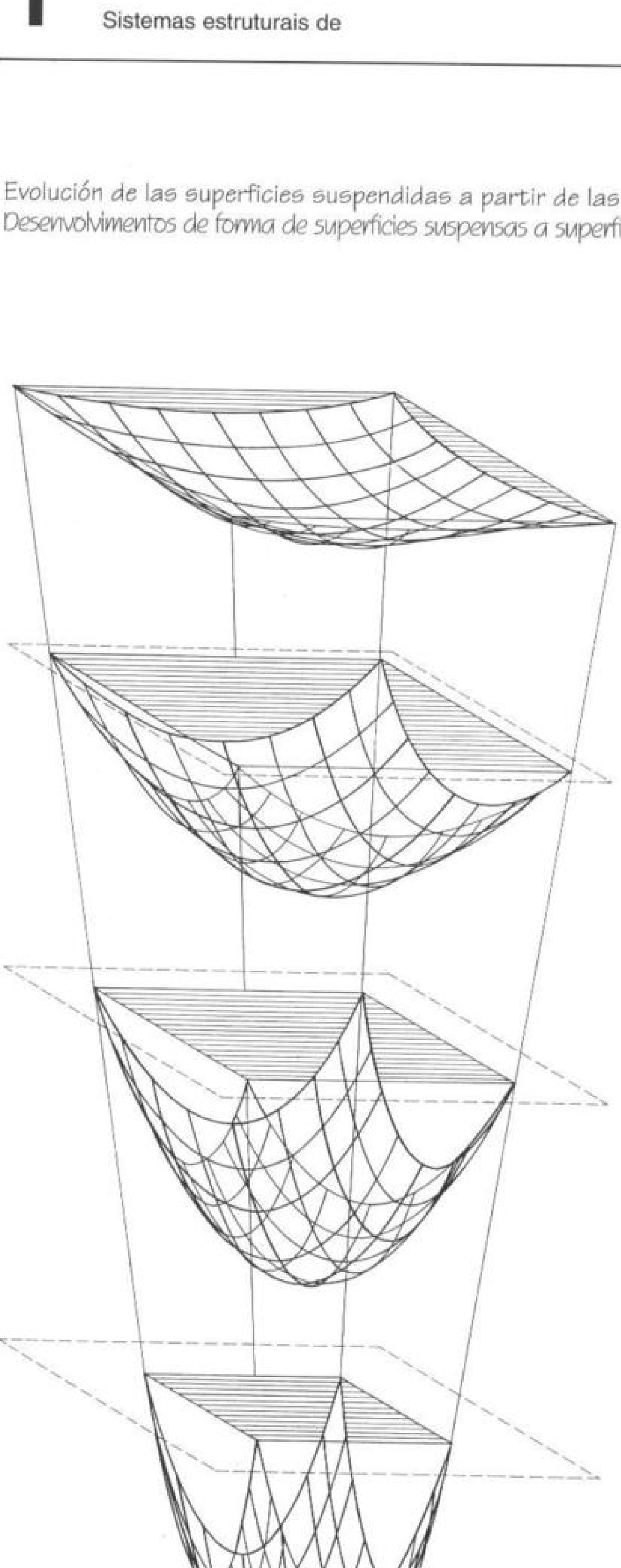
Resistencia del sistema global en una retícula abovedada sometida a sobrecarg
Resistência do sistema total na reticula abobadada sob carga adicional

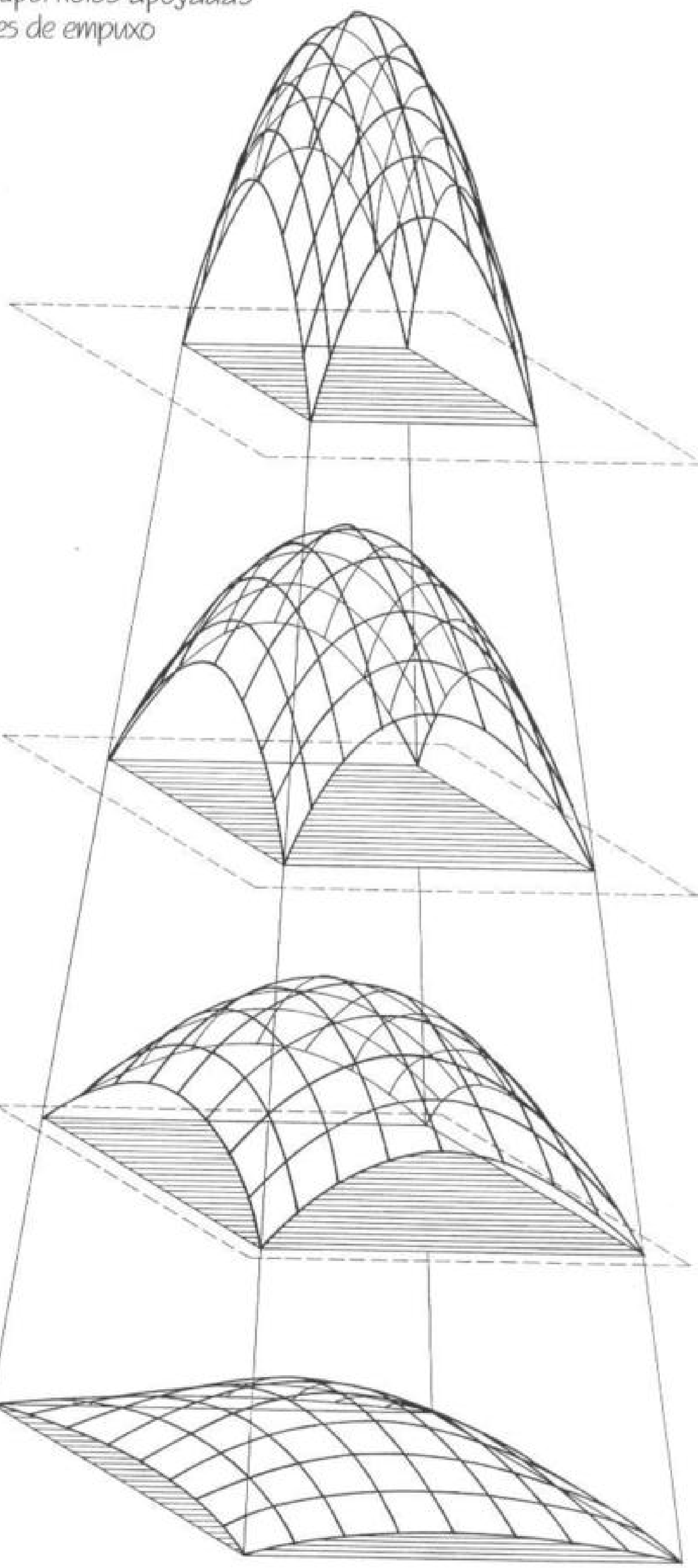



El mecanismo de resistencia es el resultado de: flexión del eje del arco, torsi de la sección del arco, desplazamiento del ángulo de intersección (cruce) de retícula

A resistência mecânica resulta da: curvatura do eixo do arco, torção da seção c zada do arco, torção violenta dos ângulos de interseção (ângulos de malha)

Evolución de las superficies suspendidas a partir de las superficies apoyadas
Desenvolvimentos de forma de superficies suspensas a superficies de empuxo





Con una retícula de geometría cuadrada plana (de desarrollo ortogonal) e igual tamaño de malla se pueden generar superficies funiculares de diferente altura, mediante deformación romboidal de la malla, de modo análogo a la retícula suspendida.

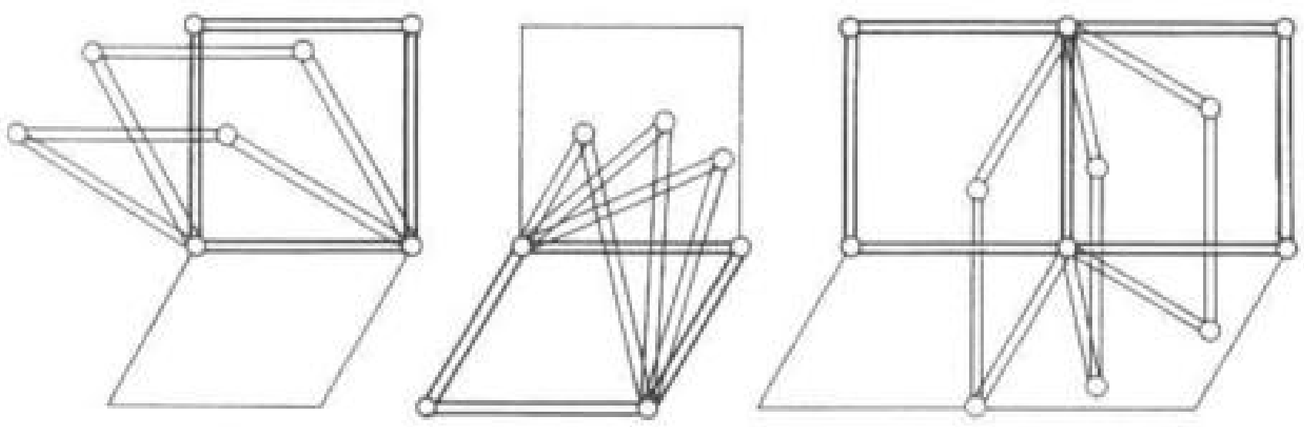
Com uma estrutura de geometria quadrada plana (como um desenvolvimento ortogonal) e tamanho de malha uniforme, semelhante à reticula suspensa, podem ser geradas superficies funiculares de empuxo com alturas variadas modificando a forma do losango da malha.

## Retícula abovedada: definición y características

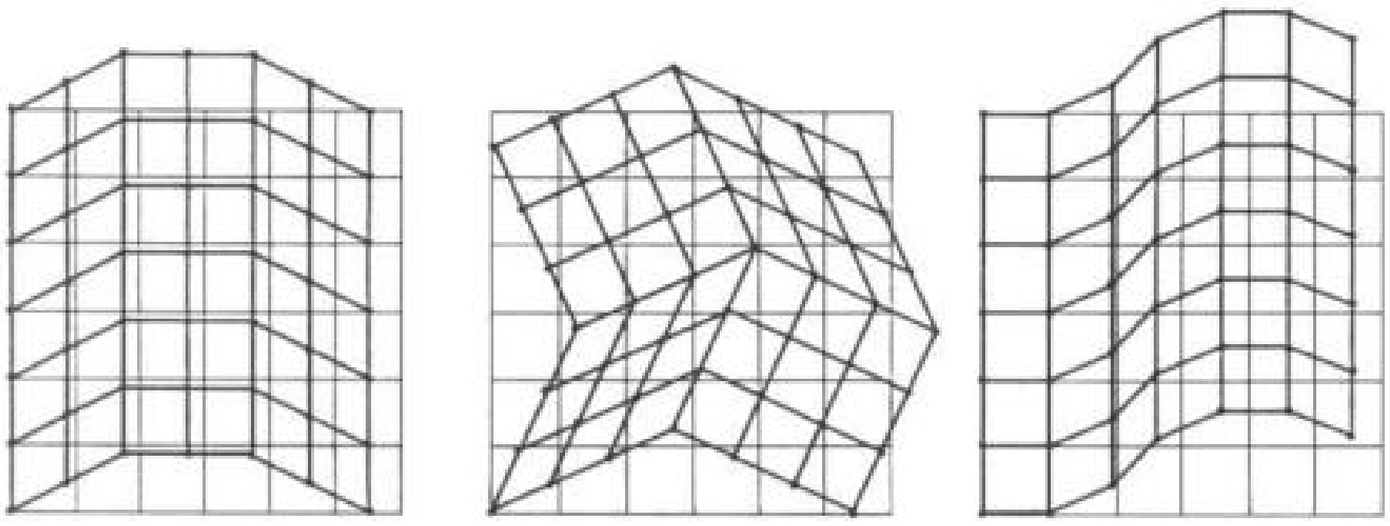
## Geometría de la retícula de malla uniforme
## Geometria da reticula de malha uniforme

La malla reticular equilátera es el elemento básico de la geometría de la retícula abovedada. Los nudos (teóricamente) articulados de la malla posibilitan que las superficies reticulares puedan tener cualquier forma.

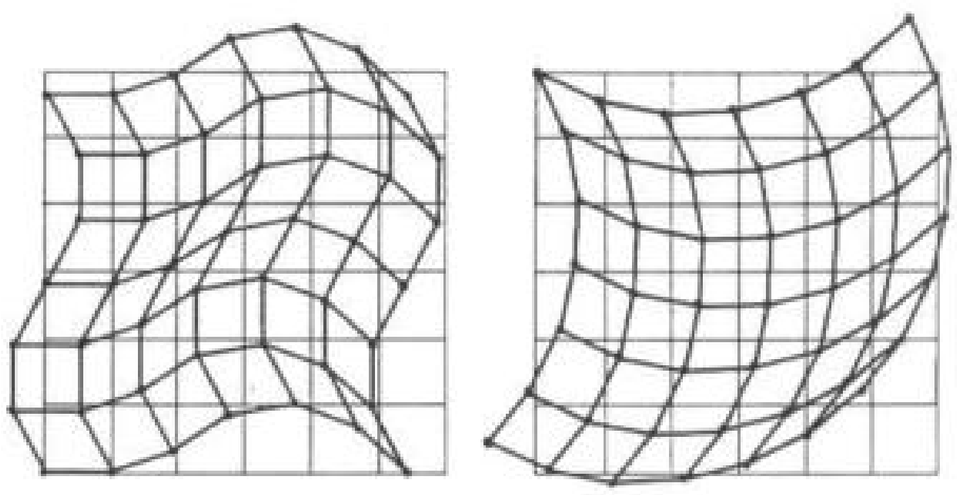
A conexão equilateral da malha da reticula é o elemento básico da geometria da estrutura abobadada. Os (teoricamente) nós flexíveis permitem às superficies da estrutura qualquer forma.



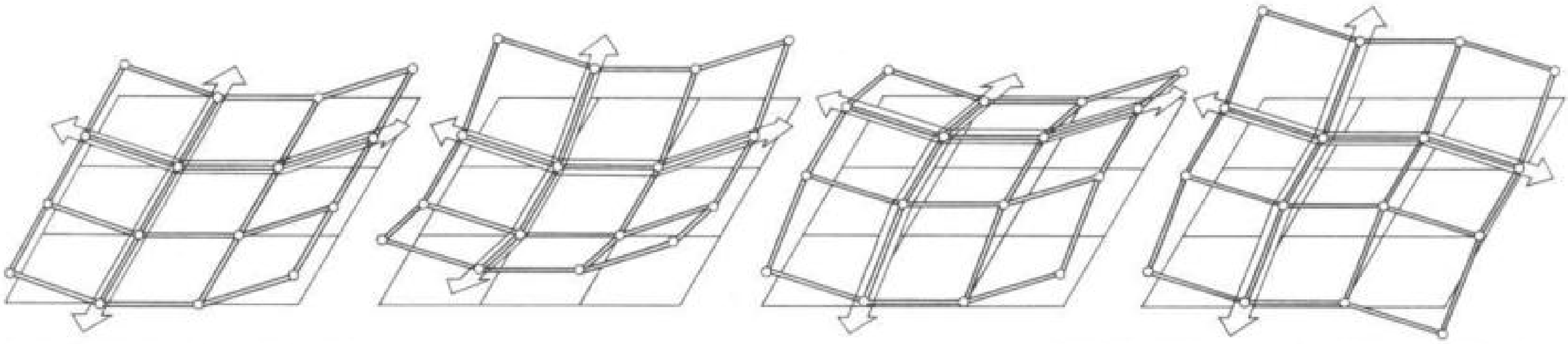
Manipulación de la forma a través del ángulo de la malla
Manipulação da forma através do ângulo de conexão



Flexibilidad del modelo de malla uniforme en una retícula plana

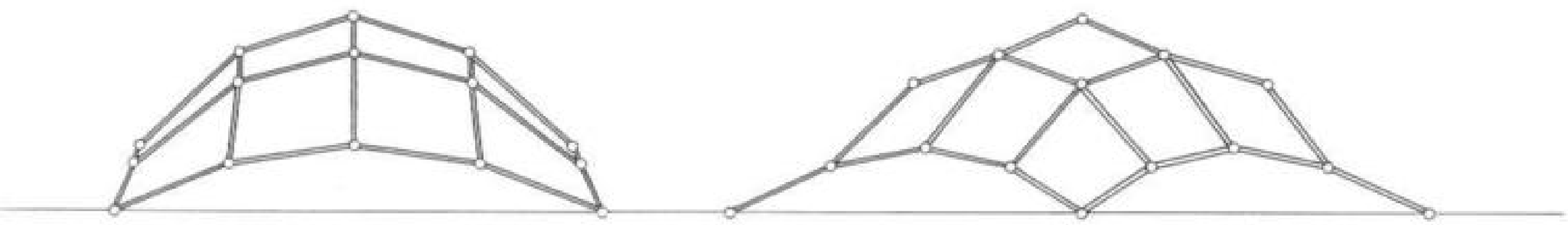


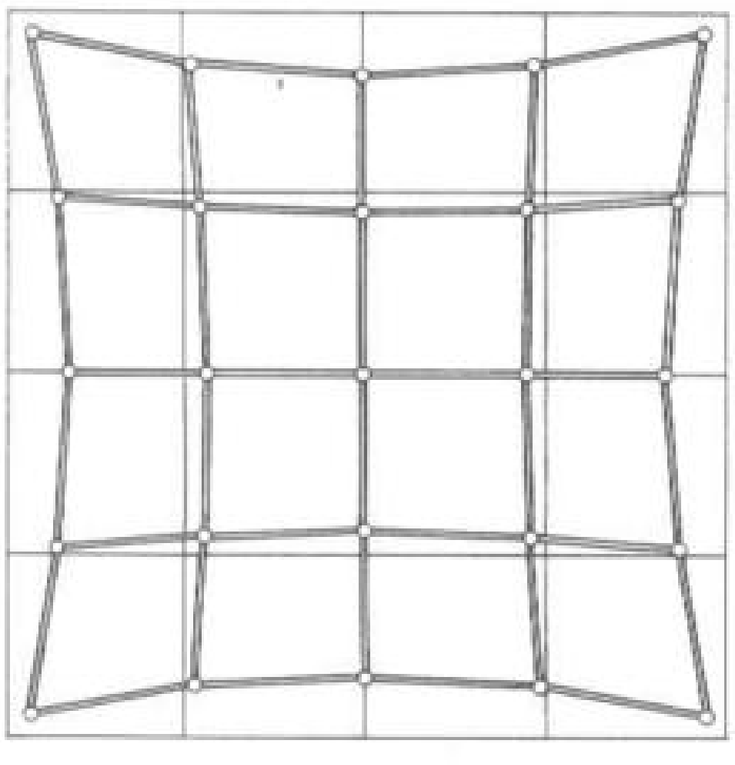
Flexibilidade do modelo de malha uniforme na estrutura plana



Flexibilidad tridimensional de la retícula con malla uniforme

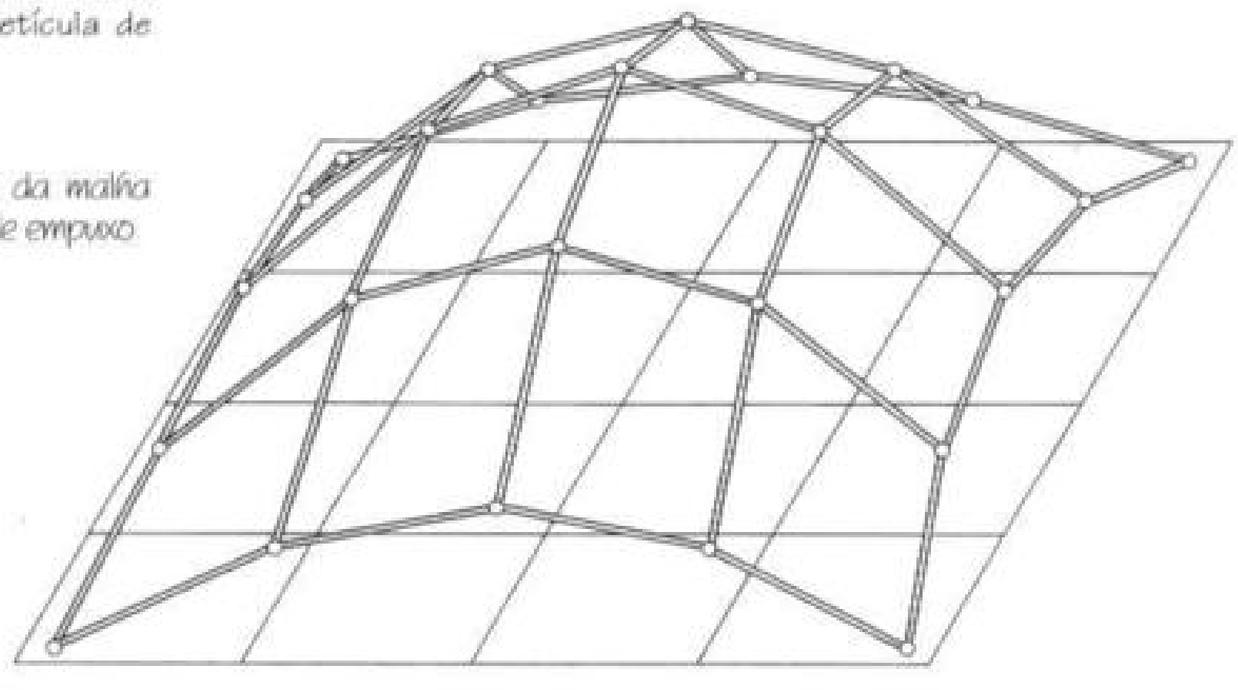
Flexibilidade tridimensional das reticulas de malha uniforme





Desplazamiento de los nudos de la malla en una retícula de malla cuadrada

Deslocamento dos nós da malha na estrutura reticular de empuxo



## Doble curvatura del arco perimetral en la retícula abovedada: derivación de la malla suspendida

## Curvatura dupla das extremidades do arco na reticula abobadada: derivação da rede de suspensão

Los dos cables perimetrales suspendidos se desplazan en dirección a las fuerzas que actúan sobre los cables portantes.

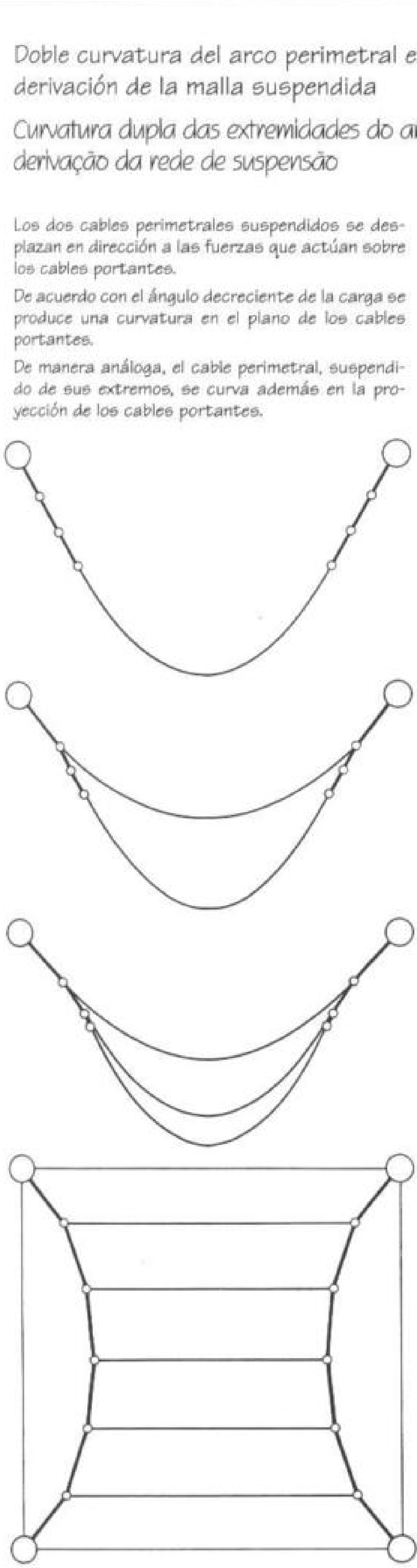
De acuerdo con el ángulo decreciente de la carga se produce una curvatura en el plano de los cables portantes.

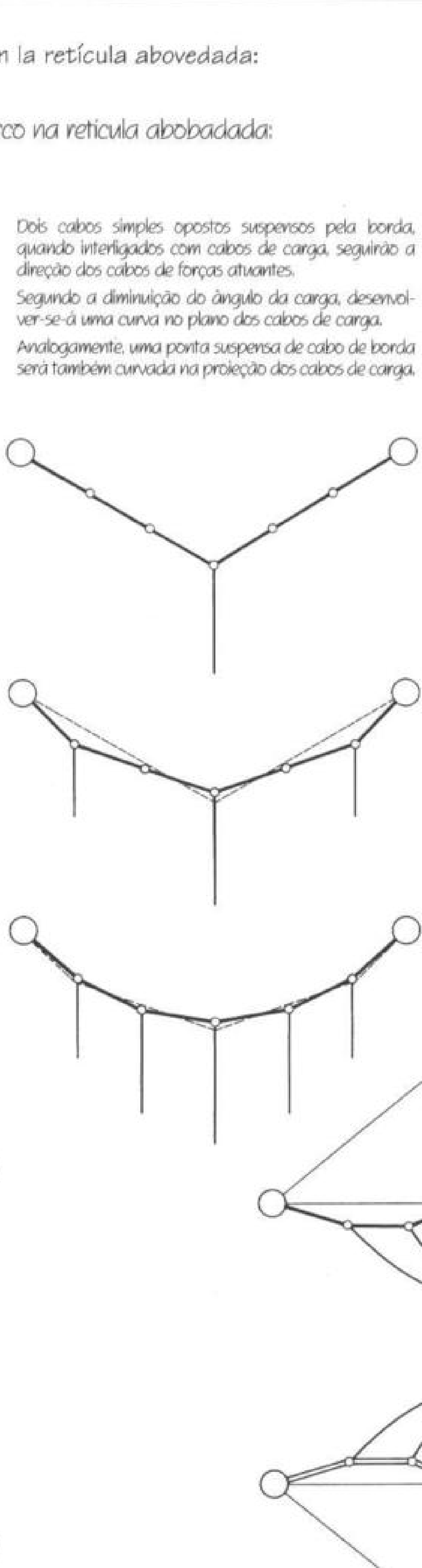
De manera análoga, el cable perimetral, suspendido de sus extremos, se curva además en la proyección de los cables portantes.

Dois cabos simples opostos suspensos pela borda, quando interligados com cabos de carga, seguirão a direção dos cabos de forças atuantes.

Segundo a diminuição do ângulo da carga, desenvolver-se-á uma curva no plano dos cabos de carga.

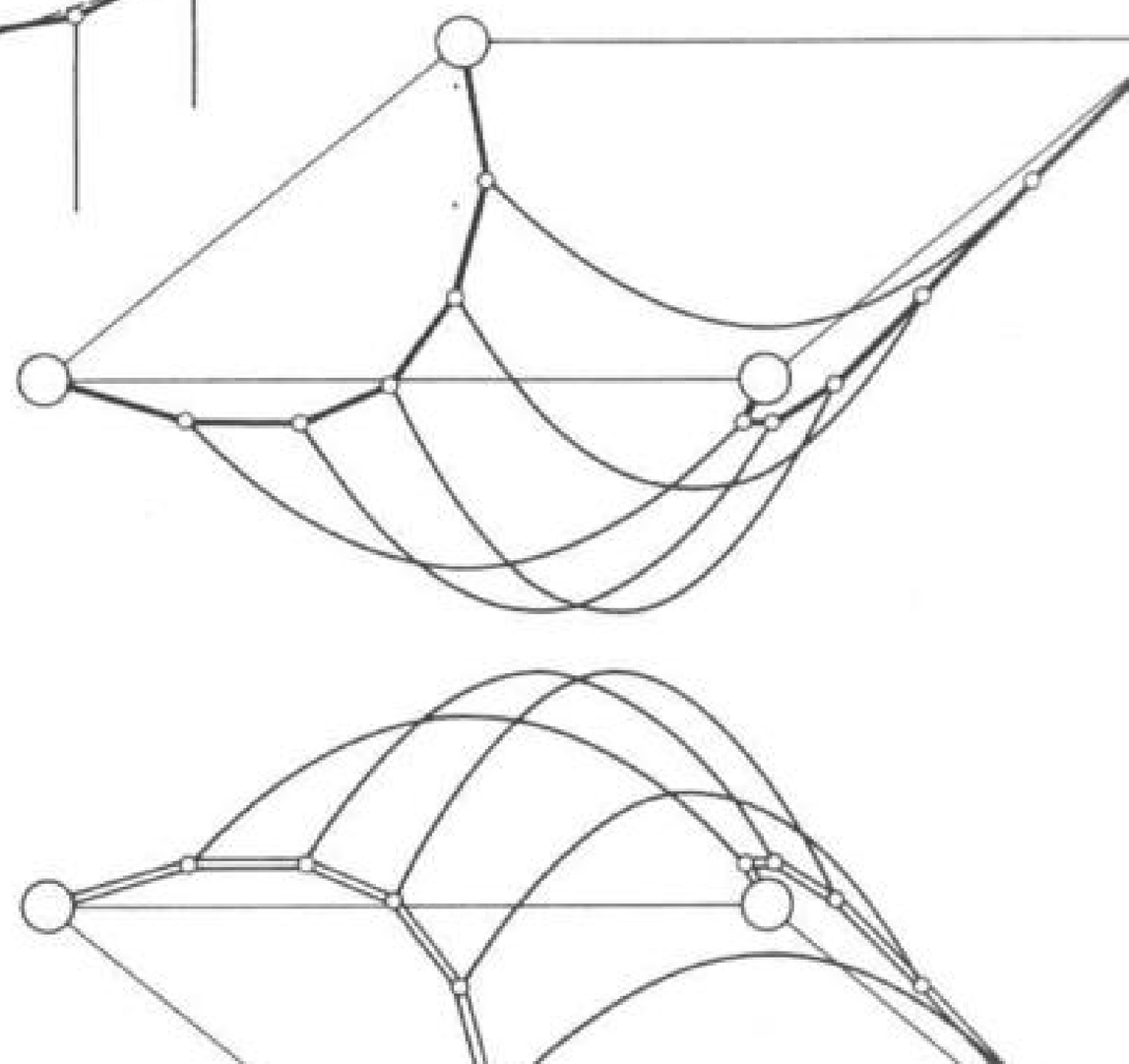
Analogamente, uma ponta suspensa de cabo de borda será também curvada na projeção dos cabos de carga.





Curvatura de los dos cables perimetrales debido a su suspensión de cables portantes separados.

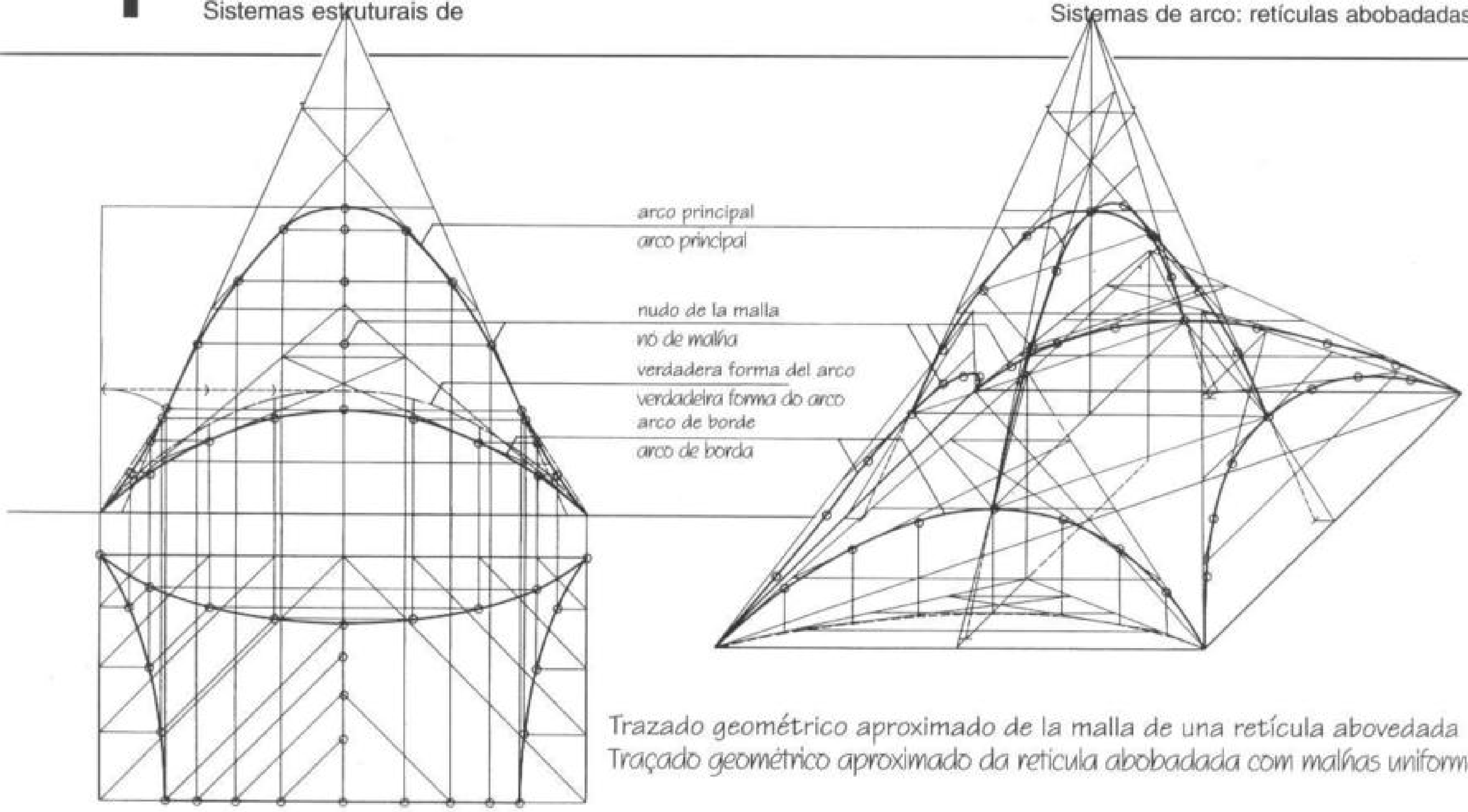
Curvatura dos dois finais de cabo por causa da ligação com cabos de carga separados.





Las leyes que rigen la forma de los cables perimetrales en la malla suspendida son válidas en sentido inverso para el diseño del arco de borde en la retícula abovedada.

Os princípios que condicionam a forma do final dos cabos na rede suspensa, inversamente, governam o desenho do arco de borda na reticula abobadada.




Trazado geométrico aproximado de la malla de una retícula abovedada
Traçado geométrico aproximado da reticula abobadada com malhas uniformes

Todos los arcos poseen la misma longitud. La forma del arco funicular se construye de manera simplificada como una parábola.

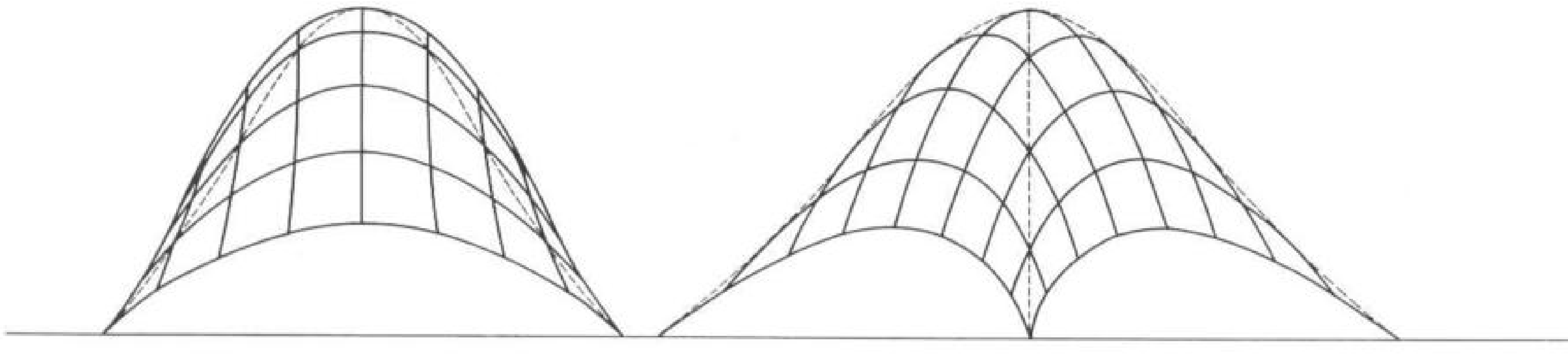
Con la elección de los dos arcos principales que se cruzan se fija la forma en planta de la estructura, el desarrollo de los arcos y la subdivisión de la malla.

Los arcos perimetrales se sitúan en un plano, cuya inclinación es mayor que la tangente final en los arcos principales.

Todos os arcos têm o mesmo comprimento linear. A configuração do arco funicular é construída de forma simplificada como uma parábola.

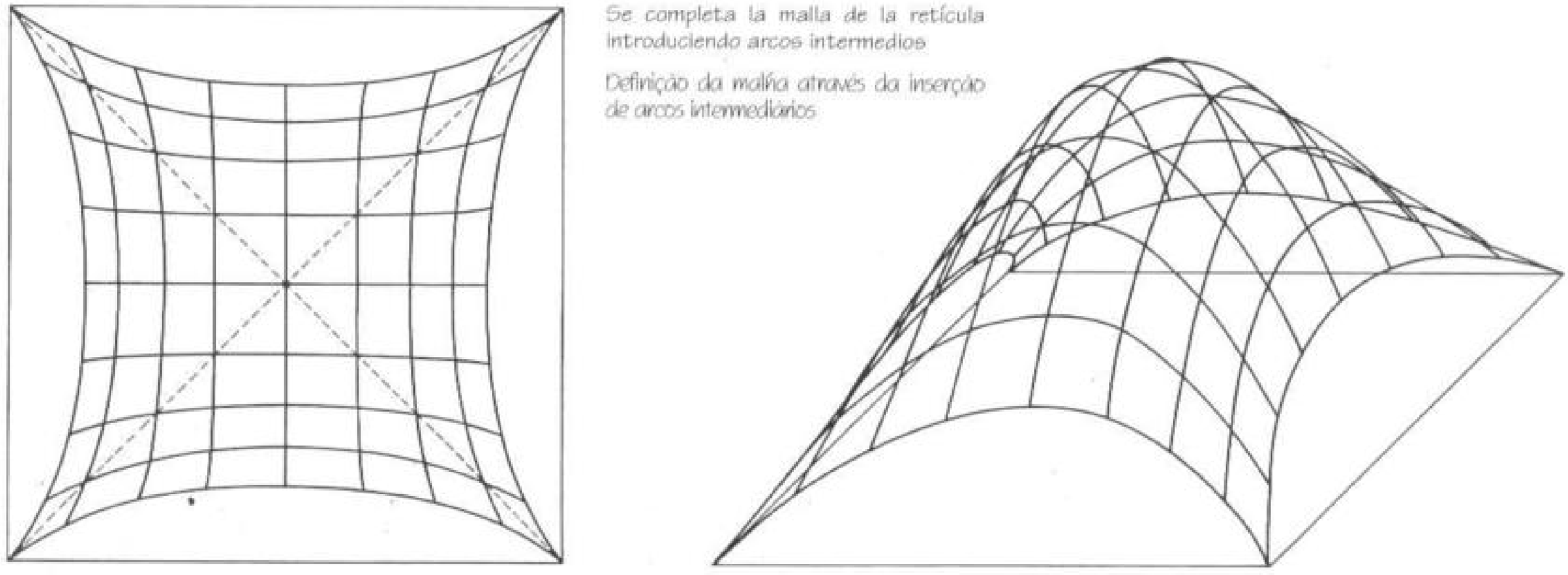
Com a possível escolha dos arcos principais cruzando-se entre si, a forma básica estrutural, o comprimento linear do arco e a divisão de malha são determinados.

Os arcos de borda são desenhados em um plano com uma inclinação maior que a tangente final dos arcos principais.



Se completa la malla de la retícula introduciendo arcos intermedios

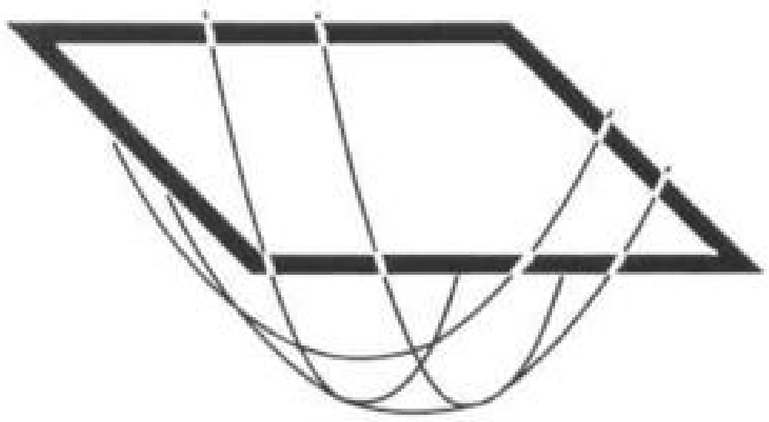
Definição da malha através da inserção de arcos intermediários

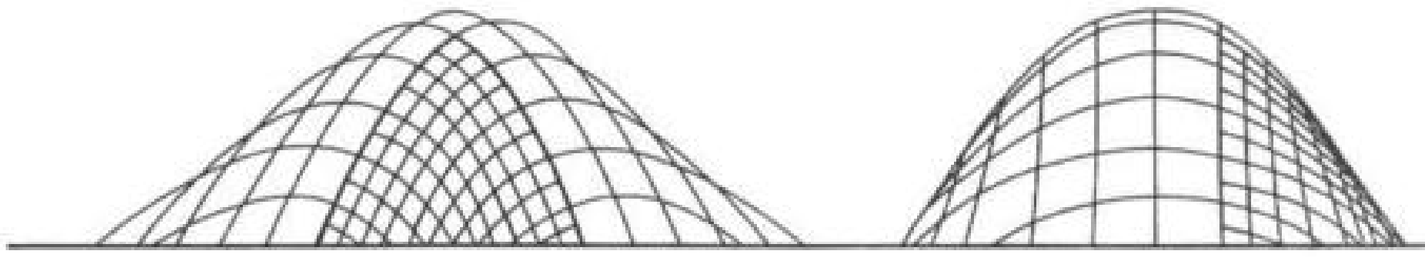


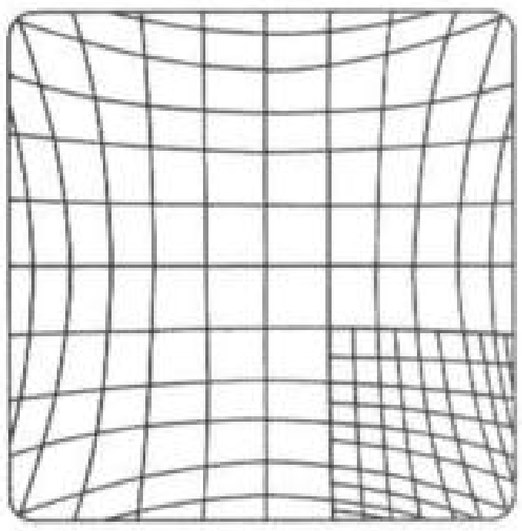
## Principales prototipos para diseñar el perímetro de una retícula abovedada

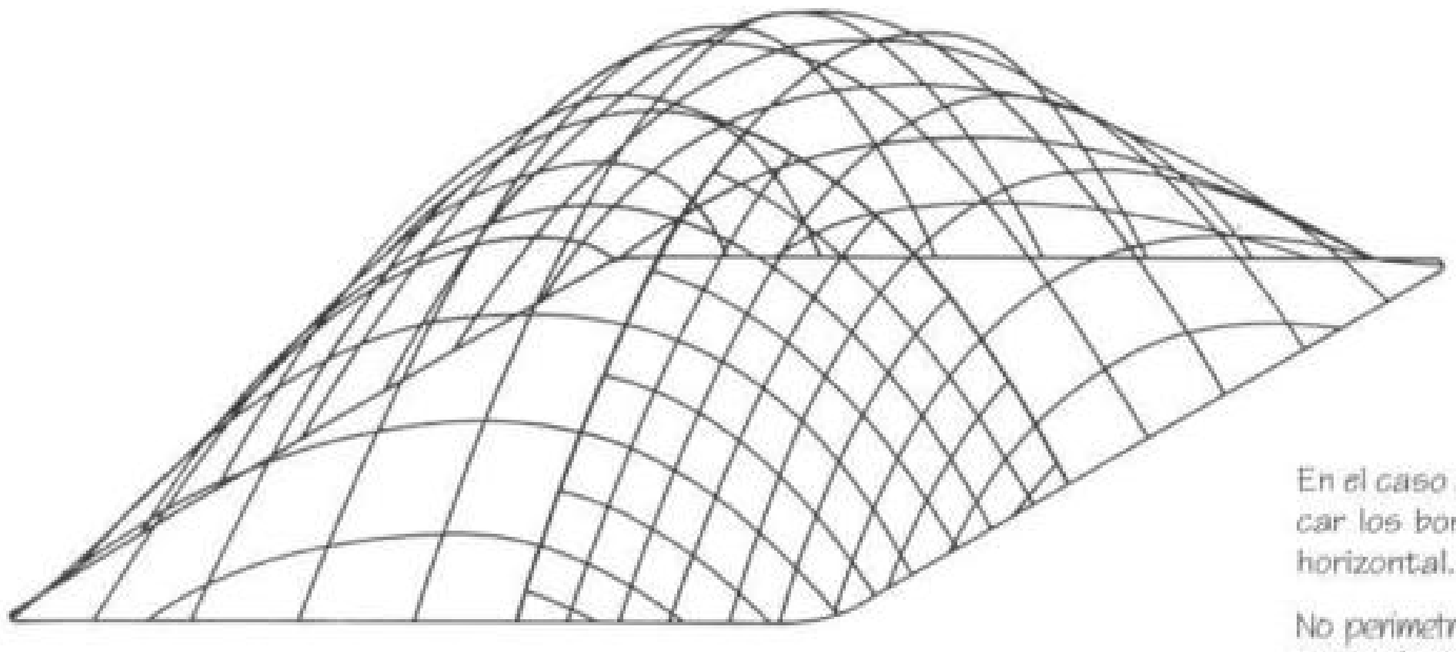
## Principais tipos de desenho de perímetro na retícula abobadada

Perímetro de sección cerrada y plana / Seção de perímetro fechado e plano





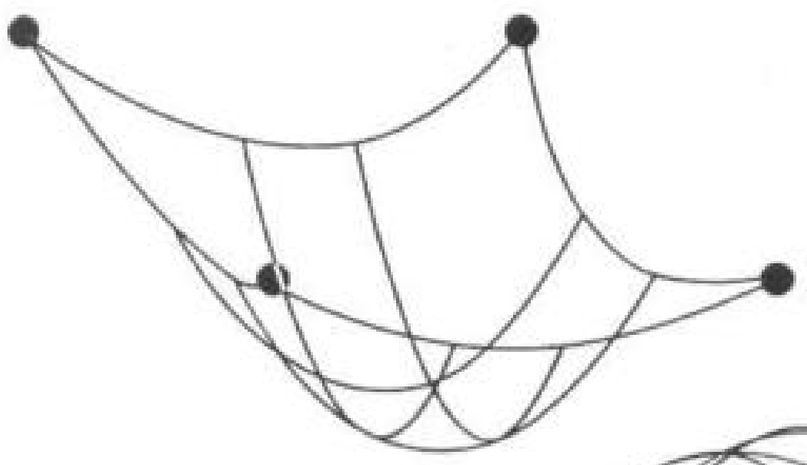


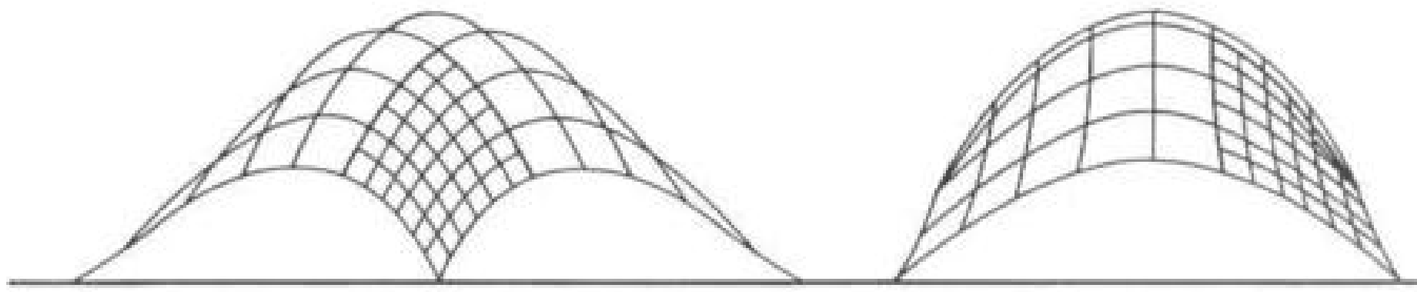


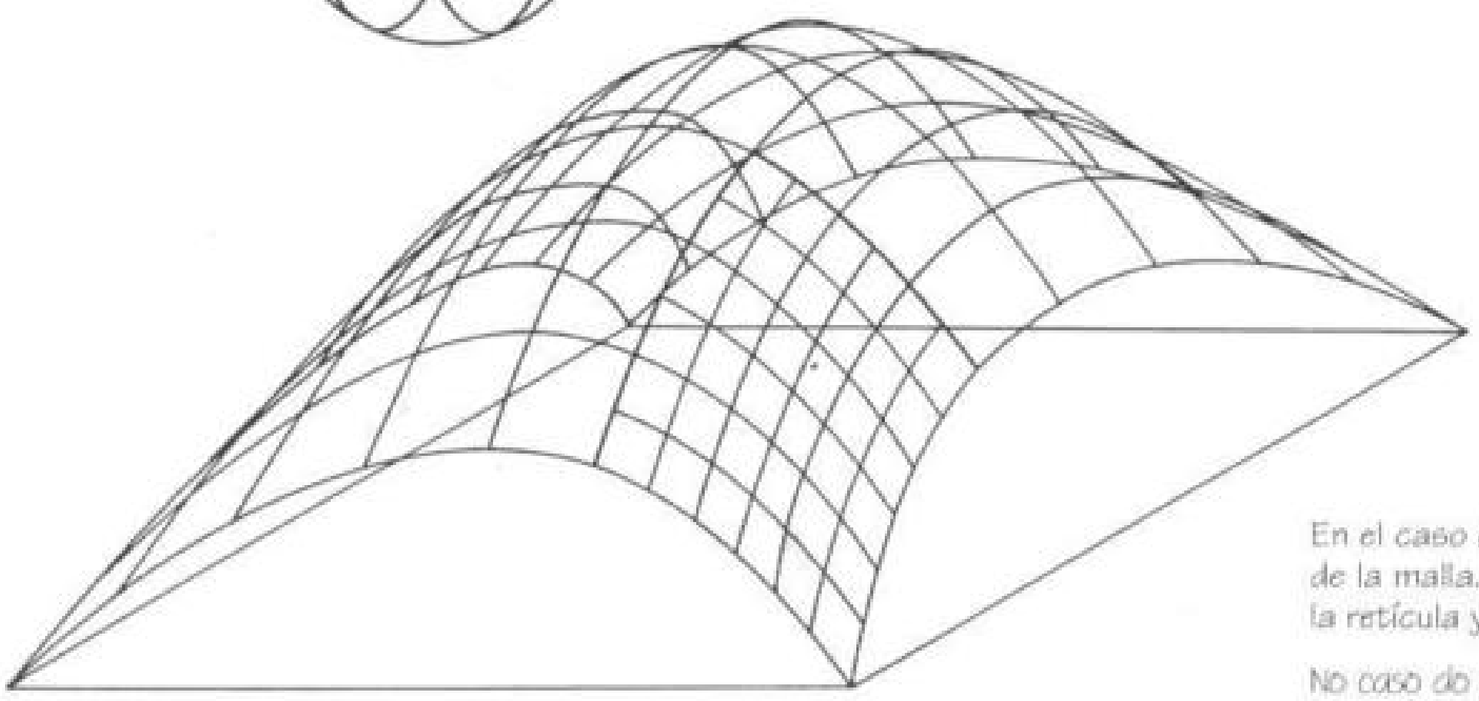
En el caso de un perímetro cerrado con lados rectilíneos se han de truncar los bordes de la malla. El perímetro queda sometido a una flexión horizontal.

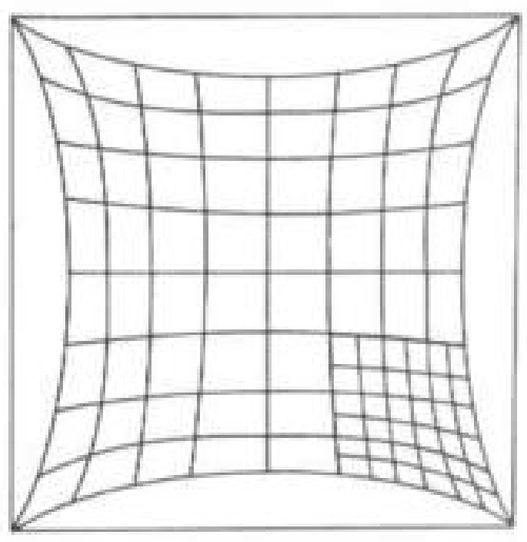
No perímetro fechado com lados retilíneos, a borda da malha tem que estar truncada. A borda plana está sujeita à curvatura horizontal.

Malla reticular con arcos abiertos / Malha com perímetro aberto em arco







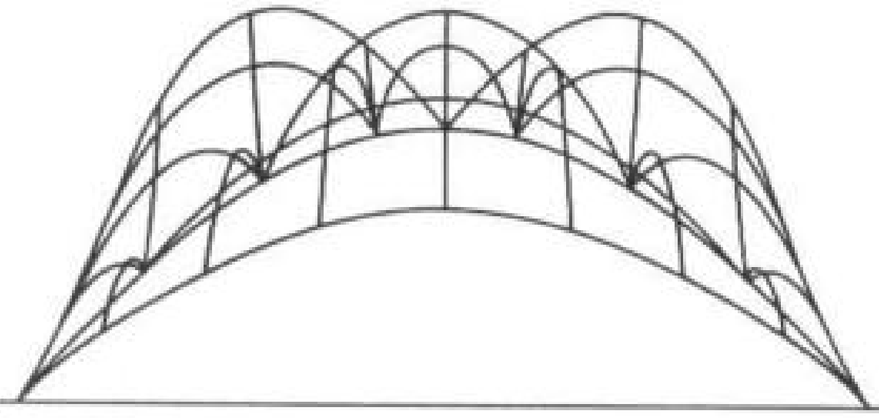


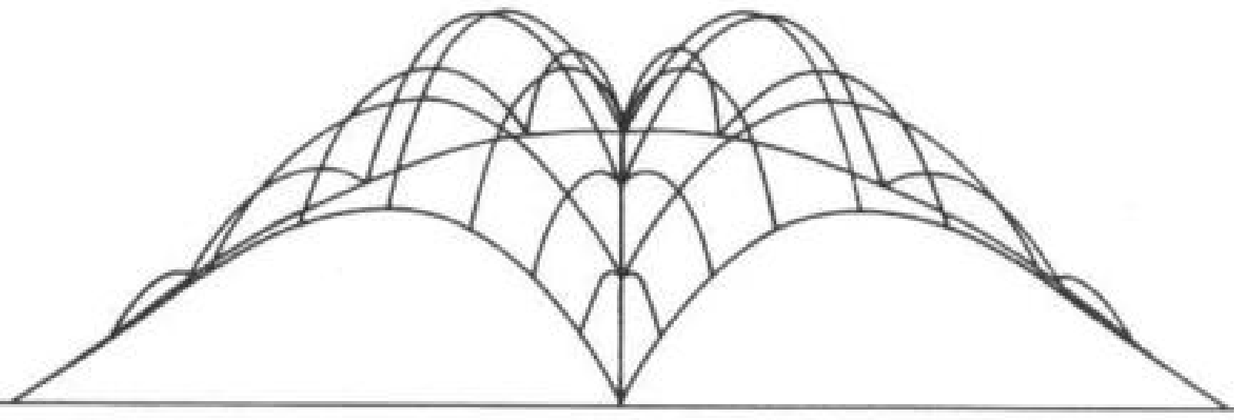
En el caso de un perímetro abierto, el borde está formado por un arco de la malla. Está inclinado hacia el interior para absorber el empuje de la retícula y sólo está sometido a compresiones.

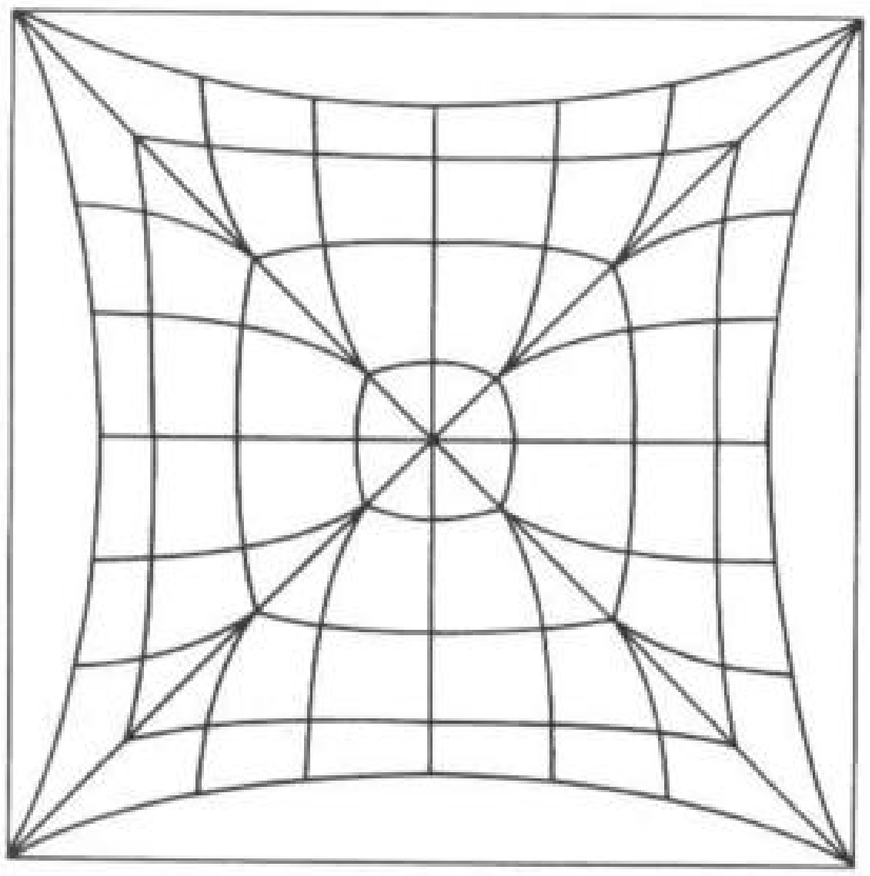
No caso do perímetro aberto, a borda é formada por um arco da malha. É inclinado para o centro para receber a estrutura de empuxo e está sujeito somente à compressão.

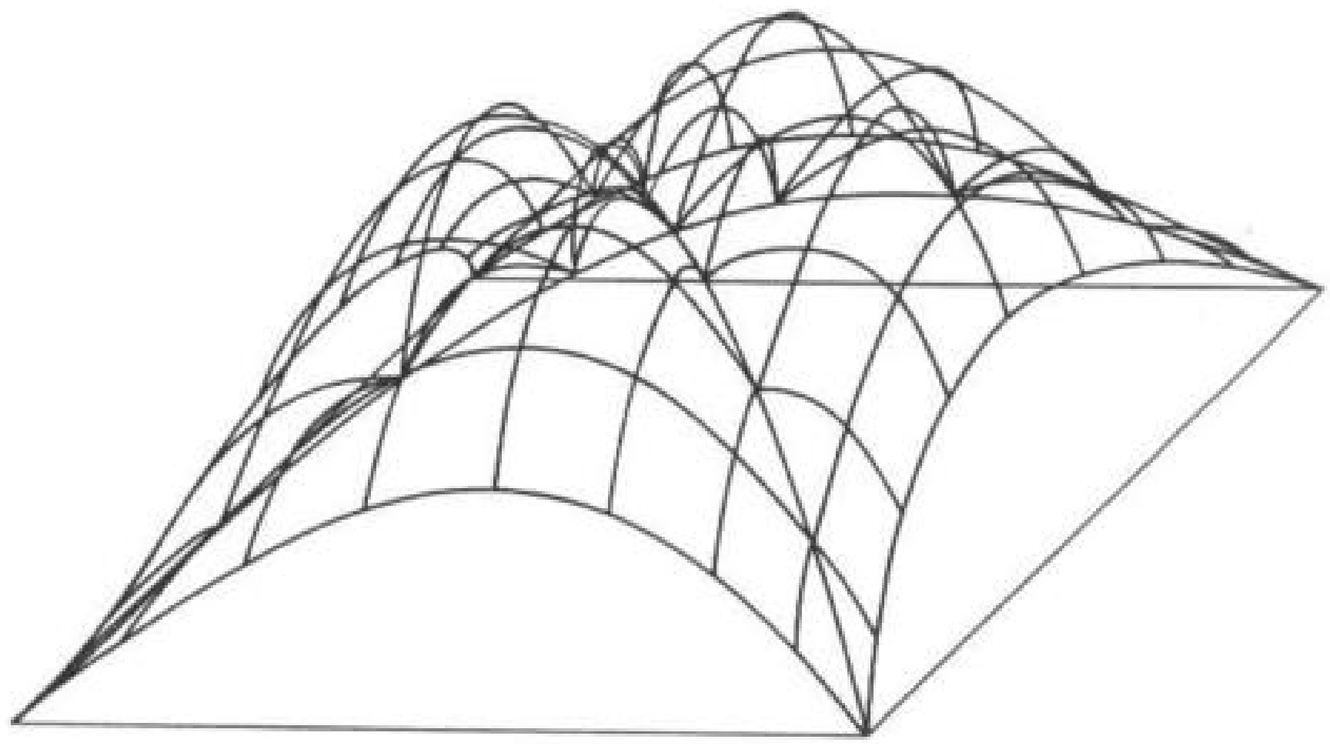
Geometría de las superficies apoyadas cuando varía la transmisión de cargas

Geometria de superfície apoiada sob variação de transmissão de carga

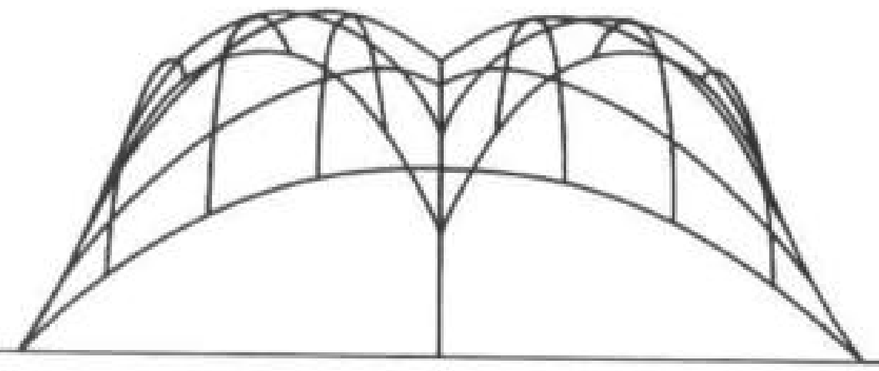


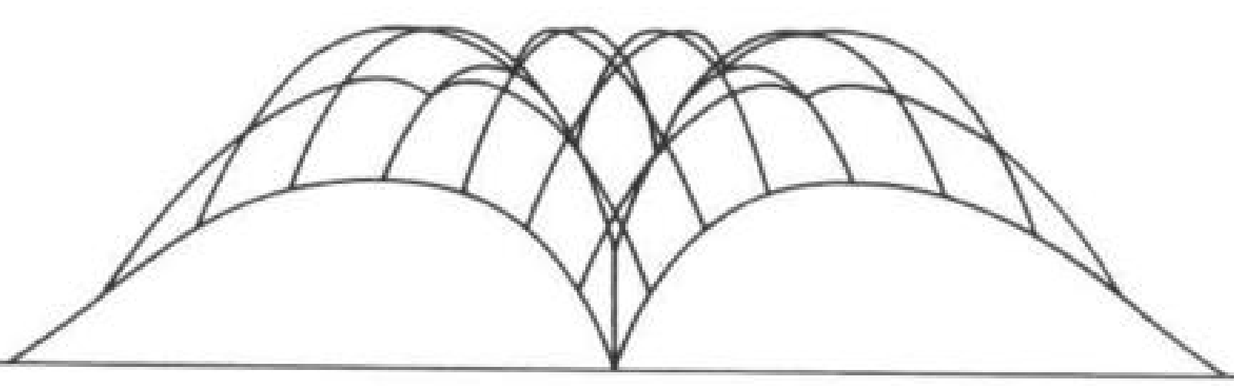


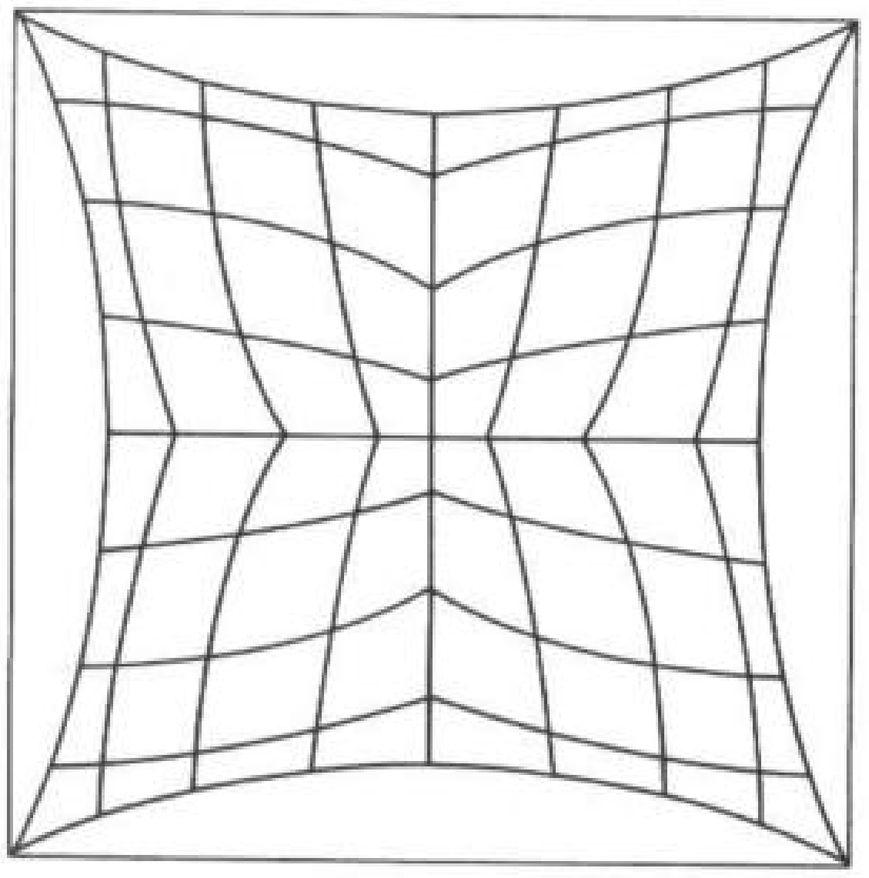


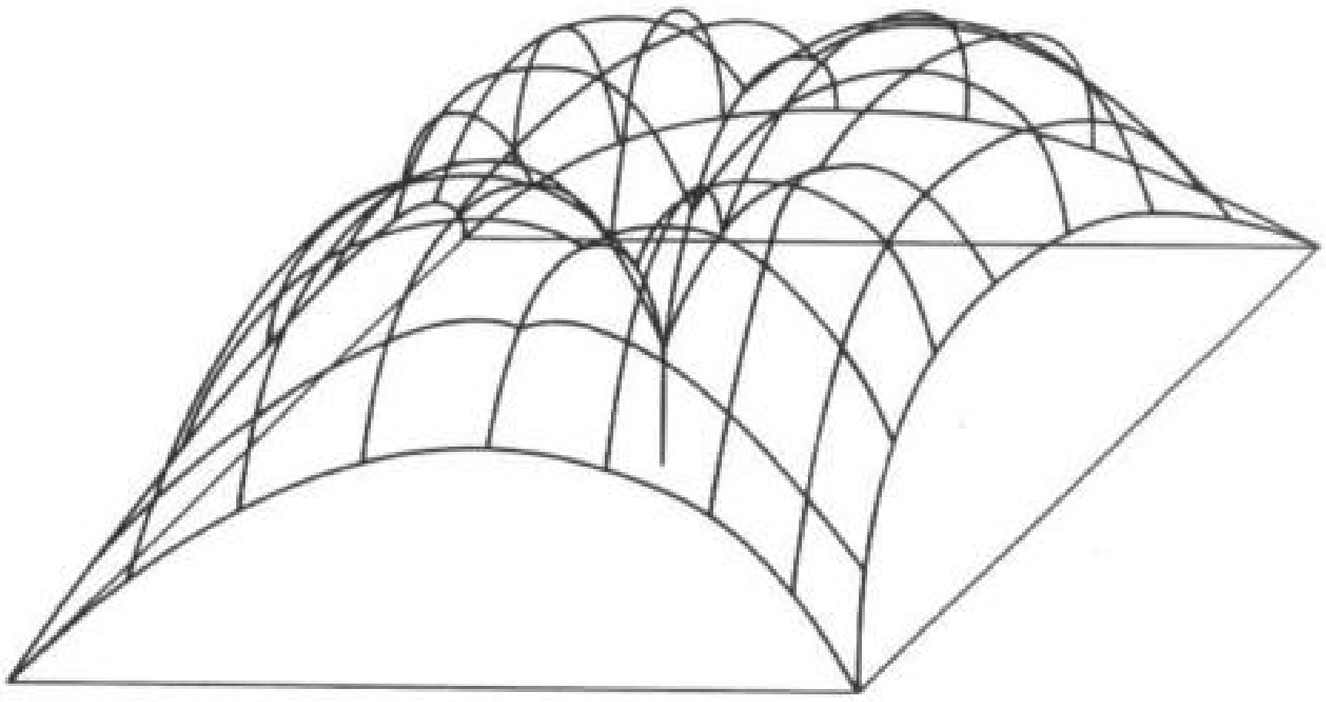


Transmisión adicional de cargas a través de arcos en diagonal
Transmissão de carga adicional através de arcos diagonais





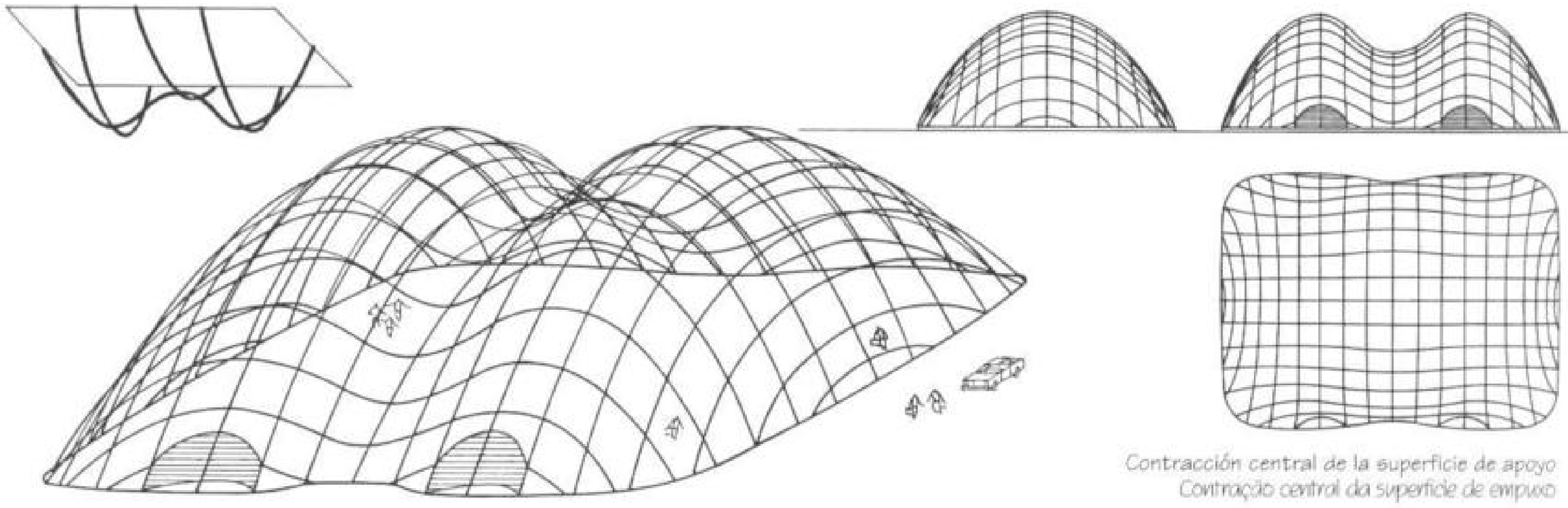




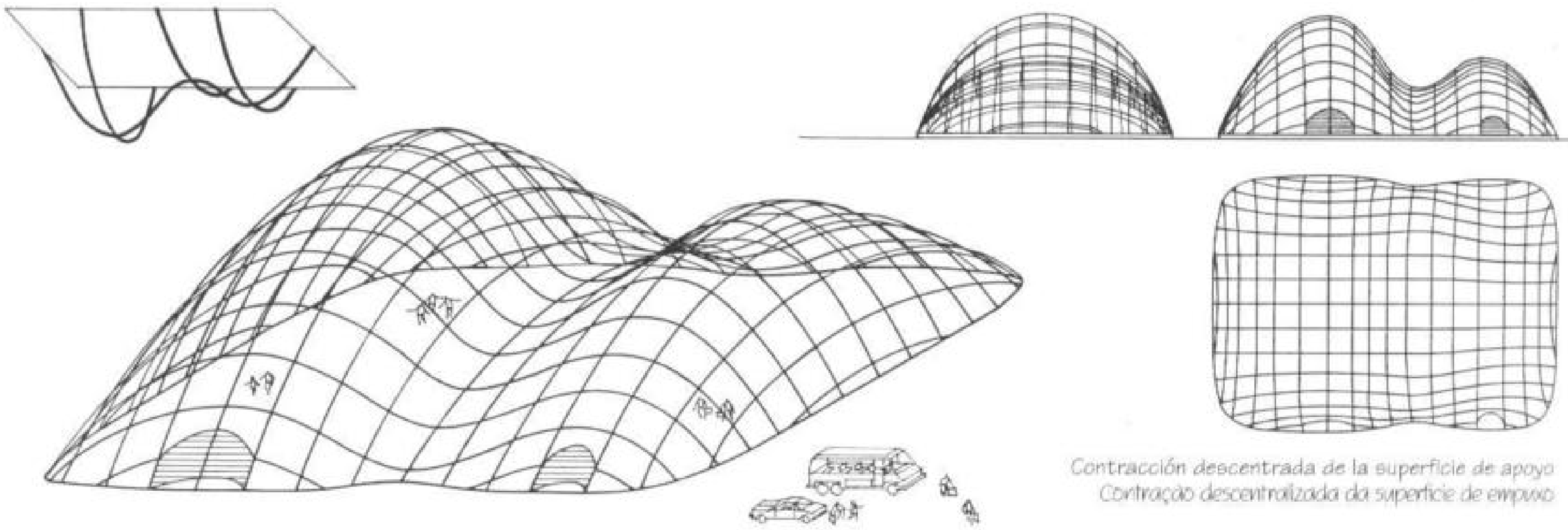
Transmisión adicional de cargas a través de pilares centrales interiores
Transmissão de carga adicional através de suporte central

Sistemas de retículas abovedadas con un borde de límite plano articulado mediante contracción de superficies

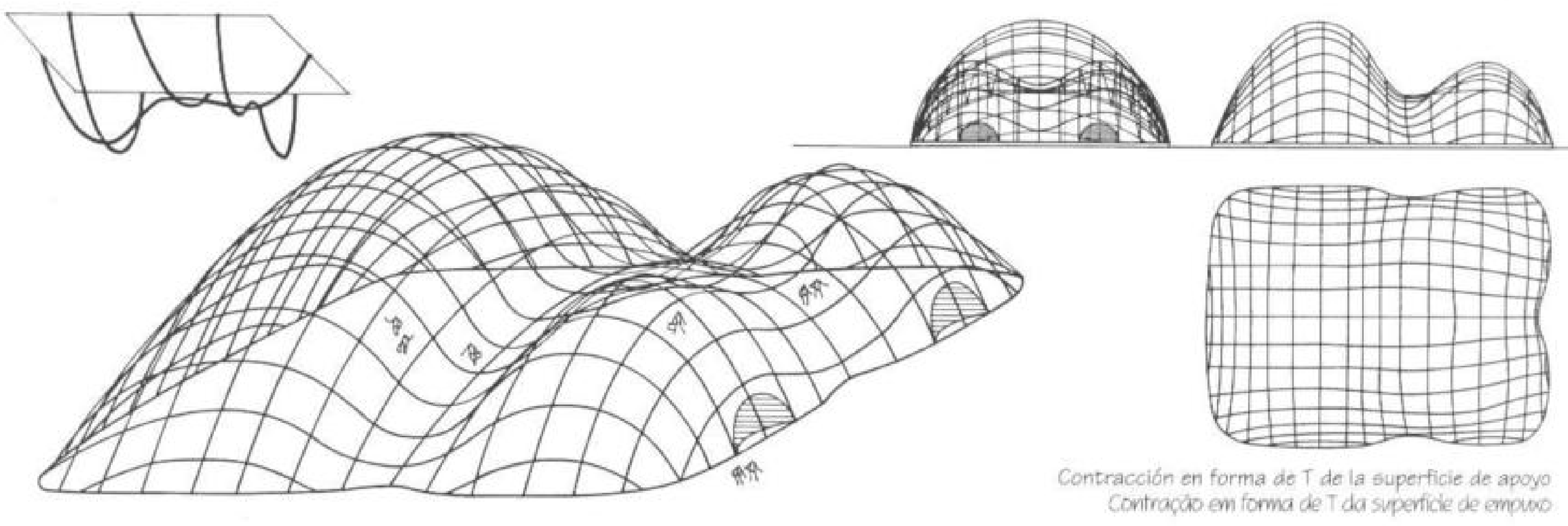
Sistemas de reticula abobadada com definição da seção plana perimetral através da articulação de contrações na superficie



Contracción central de la superficie de apoyo
Contração central da superficie de empuxo



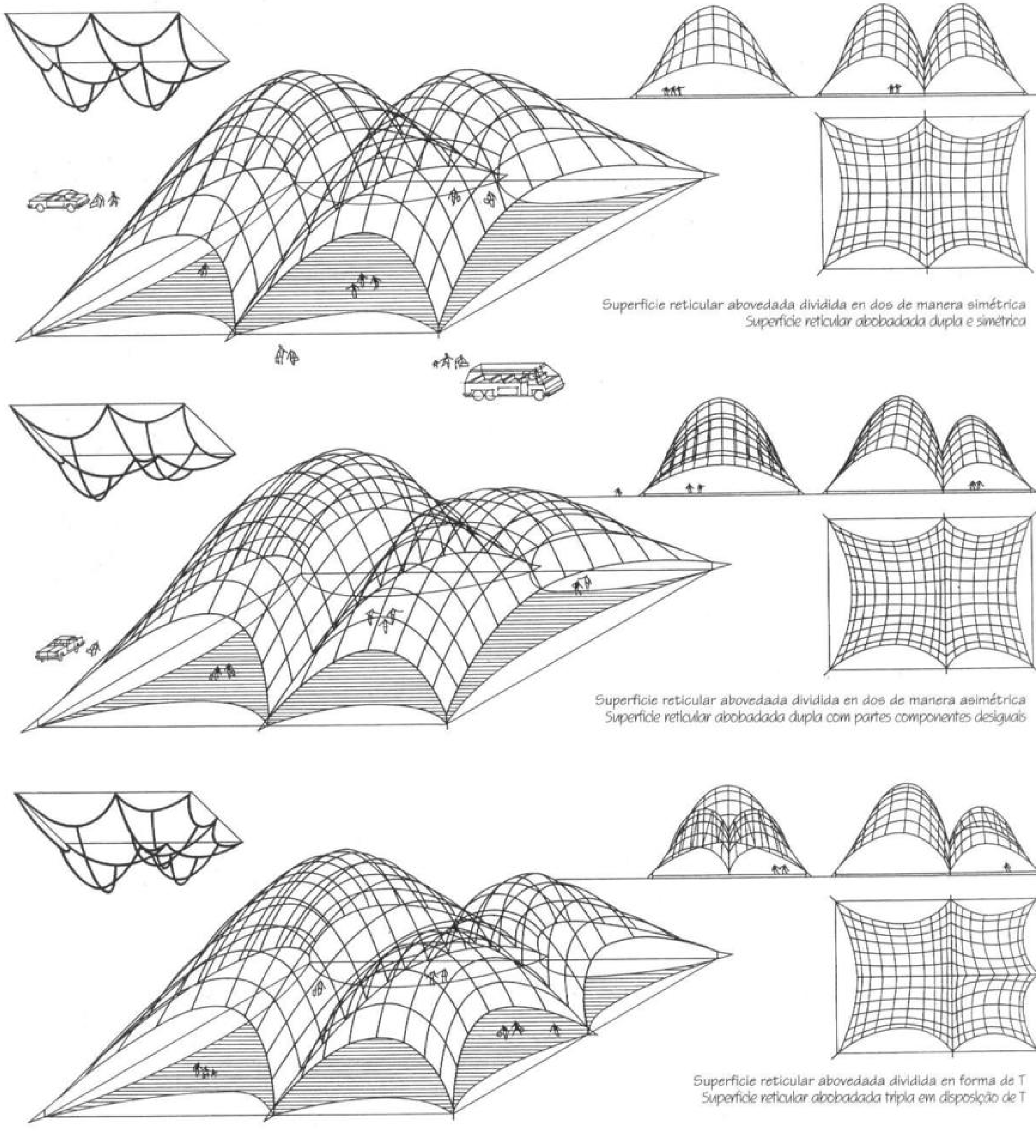
Contracción descentrada de la superficie de apoyo
Contração descentralizada da superficie de empuxo



Contracción en forma de T de la superficie de apoyo
Contração em forma de T da superficie de empuxo

Sistemas de retículas abovedadas con arcos de mallas como delimitación espacial y subdivisión de la retícula

Sistemas de reticula abobadada com arco de malha como definição de borda e como subdivisão da reticula



Superficie reticular abovedada dividida en dos de manera simétrica
Superficie reticular abobadada dupla e simétrica



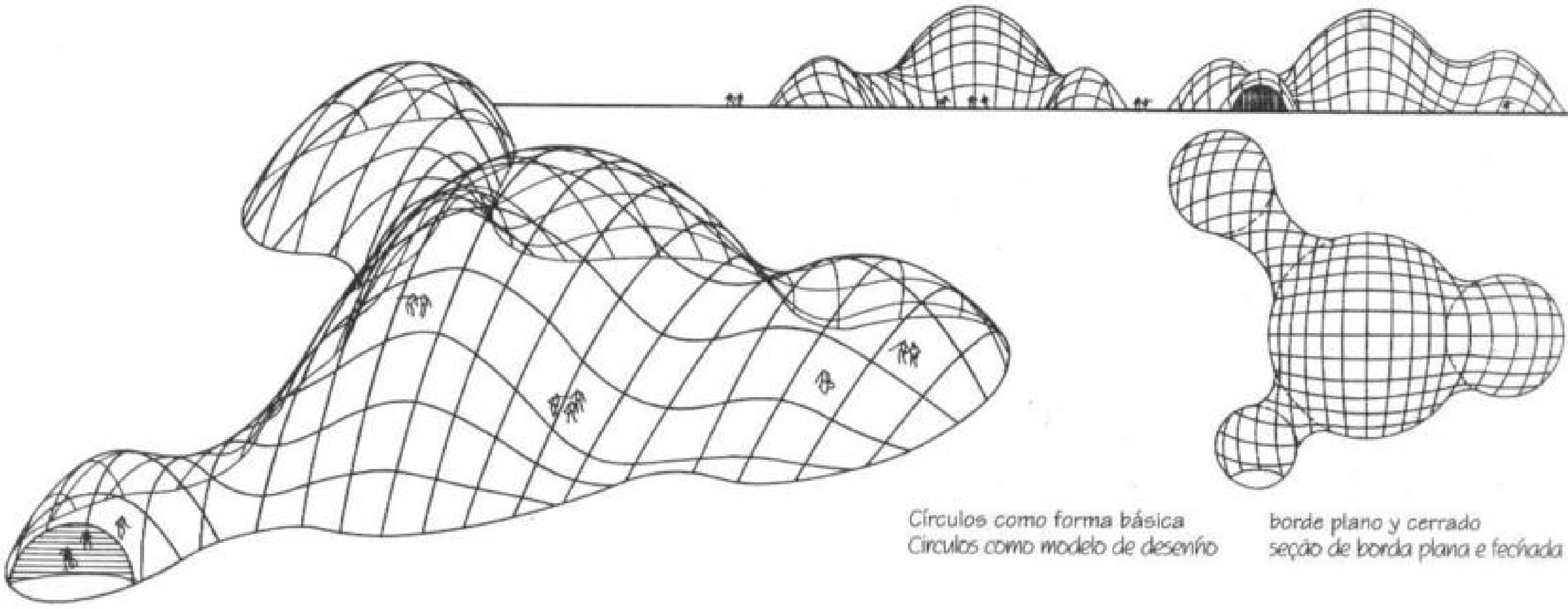
Superficie reticular abovedada dividida en dos de manera asimétrica
Superficie reticular abobadada dupla com partes componentes desiguais



Superficie reticular abovedada dividida en forma de T
Superficie reticular abobadada tripla em disposição de T

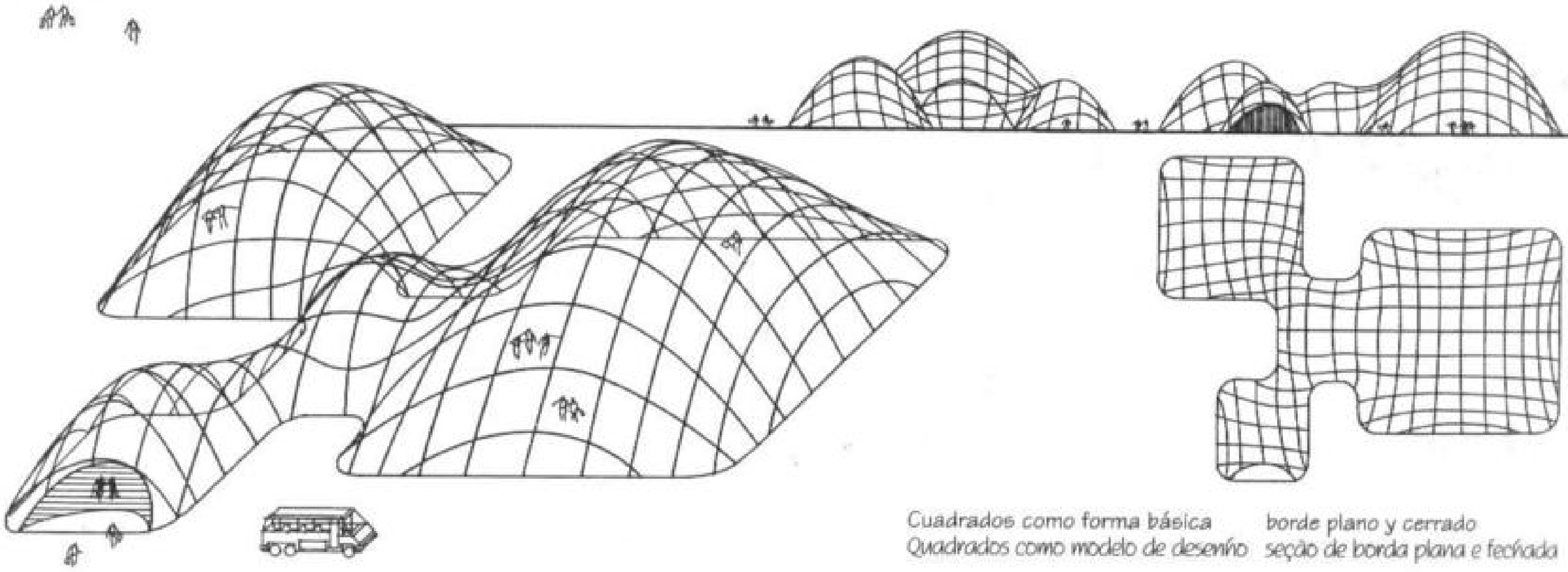
## Sistemas de retículas abovedadas para plantas de forma irregular

## Estrutura de reticula abobadada para planta livre



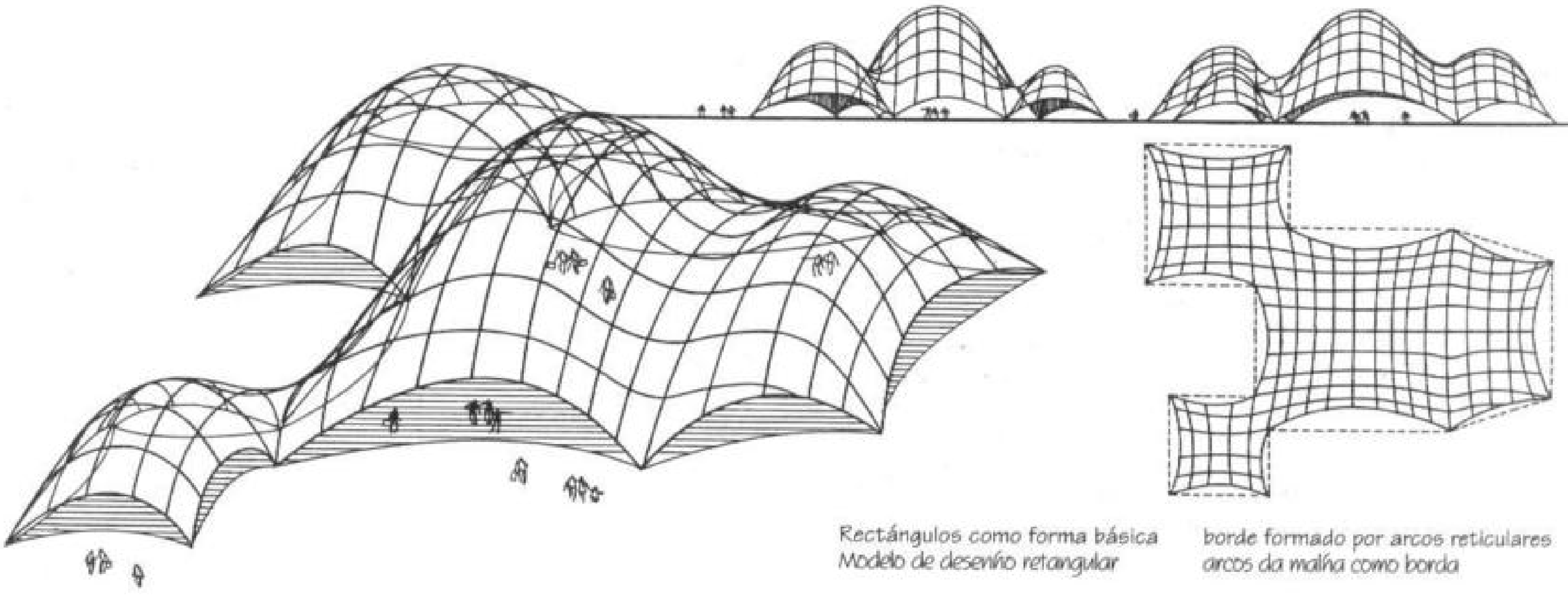
Círculos como forma básica
Círculos como modelo de desenho

borde plano y cerrado
seção de borda plana e fechada



Cuadrados como forma básica
Quadrados como modelo de desenho

borde plano y cerrado
seção de borda plana e fechada



Rectángulos como forma básica
Modelo de desenho retangular

borde formado por arcos reticulares
arcos da malha como borda

# Sistemas de estructuras de vector activo
# Sistemas estruturais de vetor-ativo

# 2

Los elementos cortos, rígidos y rectos, es decir, las barras, son elementos estructurales que, por su reducida sección en comparación con su longitud, sólo pueden transmitir solicitaciones que actúan en la dirección de las barras, es decir, fuerzas normales (tracciones y compresiones): barras a tracción y barras a compresión.

Las barras traccionadas o comprimidas unidas de manera que formen un triángulo forman una unidad estable que, si se sustenta adecuadamente, puede transmitir diferentes cargas, incluso asimétricas, a los extremos.

Las barras traccionadas o comprimidas colocadas y unidas de una manera determinada para formar un sistema con nudos articulados forman mecanismos que pueden dirigir las fuerzas y transmitir las cargas a lo largo de grandes espacios sin pilares: sistemas de vector activo (vector = línea que representa la magnitud y el sentido de la fuerza).

La característica de los sistemas de estructuras de vector activo es la triangulación.

Los sistemas de estructuras de vector activo cambian la dirección de las fuerzas dividiendo las solicitaciones en diferentes direcciones a través de dos o más barras y las equilibran mediante las correspondientes reacciones, los vectores.

En los sistemas de estructuras de vector activo la posición de las barras en relación con la dirección de las solicitaciones determina la magnitud de las fuerzas vectoriales en las barras. Es conveniente un ángulo de 45° a 60° respecto a la dirección de la solicitación; así se consigue un cambio de dirección eficaz con fuerzas vectoriales relativamente pequeñas.

Los sistemas estructurales de vector activo son conjuntos de barras cuya eficacia se basa en el comportamiento conjunto de los diferentes elementos que trabajan a tracción o a compresión.

Conocer cómo cambia la dirección de las solicitaciones a través de su descomposición en vectores y cómo se puede controlar su magnitud es imprescindible para desarrollar ideas estructurales sobre una base de vector activo.

Dado que la composición y descomposición de las solicitaciones es el fundamento de cualquier transformación físico-mecánica y, por ello, constituye la esencia de cualquier proyecto de estructura portante, las bases de los sistemas de estructuras de vector activo no sólo afectan a las estructuras trianguladas, sino a cualquier tipo de estructura destinada a cambiar la dirección de las solicitaciones para conseguir espacios diáfanos.

El cambio de dirección de las solicitaciones mediante elementos vectoriales no debe efectuarse en un sólo plano y la transmisión de esfuerzos no debe realizarse en un sólo eje. La descomposición puede efectuarse tanto en superficies curvas como en dirección tridimensional.

Disponiendo barras en superficies de curvatura simple o doble, se integra la ventaja del cambio de dirección de las solicitaciones de los sistemas estructurales de forma activa y con ello se crea un mecanismo portante capaz de soportar y transmitir cargas de manera coherente: celosías curvas.

La ampliación biaxial de las estructuras de barras trianguladas conduce a las mallas espaciales planas.

Conocer la geometría espacial, las propiedades de los poliedros y las leyes de la trigonometría esférica es imprescindible para aplicar las múltiples posibilidades de las mallas espaciales.

La descomposición vectorial de las solicitaciones también se puede emplear en otros sistemas estructurales, sobre todo si, debido al peso propio elevado, se aproximan a los límites de las posibilidades de ejecución. Por lo tanto, los arcos, pórticos o láminas también se pueden proyectar y construir como elementos reticulares.

Los sistemas de estructuras de vector activo también pueden compararse, en cuanto a la distribución de tensiones, con aquellas estructuras compactas cuya forma exterior es parecida: en una viga de celosía apoyada en sus dos extremos y con barras paralelas, las tensiones en cada una de las barras se asemejan, en sentido y magnitud, a las tensiones internas de una viga apoyada en sus dos extremos.

Debido a la elevada eficacia respecto a estados de cargas variables y a la yuxtaposición de pequeños elementos rectilíneos, los sistemas
estructuras de vector activo son especialmer
apropiados como sistemas portantes para ed
cios de gran altura.

Los sistemas de estructuras de vector activo pr
sentan grandes ventajas como estructuras ver
cales para edificios de gran altura. Proyectad
adecuadamente, pueden combinar las funcion
estáticas de agrupamiento de cargas line
transmisión directa de las cargas y rigidizaci
lateral frente al viento.

Debido a sus posibilidades ilimitadas para exte
derse en tres dimensiones mediante element
estandarizados, sin obstaculizar apenas el esp
cio, los sistemas de estructuras de vector acti
son la estructura portante adecuada para las c
dades dinámicas del futuro.

Los sistemas de estructuras de vector activo s
el requisito necesario para desarrollar a fondo
urbanismo de la ciudad en su tercera dimensió
la altura. Sólo a través de estructuras espacial
de vector activo se puede resolver técnicamer
la construcción de espacios tridimensionales
escala urbana.

Por lo tanto, conocer los sistemas de estructur
de vector activo no sólo es imprescindible pa
los proyectistas de edificios de gran altura, si
también para los futuros proyectistas de estru
turas urbanas tridimensionales.

Los sistemas de estructuras de vector activ
debido a su transparencia, expresan convince
temente la capacidad humana de inventiva pa
manipular las fuerzas y dominar la gravedad.

Como hasta ahora las celosías sólo se han trat
do desde un punto de vista meramente ingeni
ril, el potencial estético de los sistemas de vect
activo no se ha explotado. En consecuencia,
aplicación en los edificios de gran altura
caracteriza, por un lado, por su gran eficienc
estructural y por el otro, por el descuido (despr
cio) de sus posibilidades formales.

En el futuro, con el desarrollo de nudos claros
enfatizados y barras de sección sencilla y esbe
ta, también las celosías y mallas espaciales
podrán dominar estéticamente y jugar el pap
formal que les corresponde por su potencial fo
mal y capacidad portante.

Elementos curtos, sólidos, em linha reta, isto é, peças lineares, são componentes estruturais que, devido à sua pequena seção em comparação com seu comprimento, podem transmitir forças apenas na direção de seu comprimento, isto é, esforços normais (tração e/ou compressão): barras a tração e barras a compressão.

As barras compressíveis e tracionáveis em montagem triangular formam uma composição estável, e completa em si mesma que, se apropriadamente suportada, é capaz de receber cargas assimétricas e variáveis, transferindo-as aos extremos.

As barras compressíveis e tracionáveis, dispostas em uma determinada forma e colocadas em um sistema com juntas articuladas, constituem mecanismos que podem mudar as direções das forças e transmitir cargas a longas distâncias sem apoios intermediários: sistemas estruturais de vetor-ativo.

A característica dos sistemas estruturais de vetor-ativo é a montagem triangular das peças em linha reta: triangulação.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo efetuam a redistribuição das forças, na qual as forças externas são divididas e redirecionadas por duas ou mais peças, e são mantidas em equilíbrio por contraforças apropriadas, os vetores.

A posição das peças em treliça, com relação à direção dos esforços externos, determina nos sistemas estruturais de vetor-ativo a grandeza dos esforços vetoriais nas peças. É conveniente um ângulo entre 45° e 60° para a direção da força; assim obtém-se uma redistribuição efetiva, com forças vetoriais relativamente pequenas.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo são sistemas multicompostos, cujo mecanismo repousa sobre a ação combinada do tensor individual e peças compressíveis.

O conhecimento de como se pode mudar a direção das forças por meio da decomposição do vetor, e de como se pode testar a grandeza das forças vetoriais, é um requisito prévio indispensável para a evolução das idéias estruturais sobre a base do vetor-ativo.

Uma vez que a composição e decomposição de forças é basicamente o centro de qualquer transformação físico-mecânica e, conseqüentemente, a essência do projeto de qualquer mecanismo resistente, as bases do mecanismo de vetor-ativo referem-se não somente aos sistemas de treliças, mas também a qualquer outra criação de forma que tente mudar a direção das forças com o fim de criar um espaço aberto.

A mudança de direção das forças por mecanismo vetorial não deve necessariamente ocorrer em um único plano, nem a distribuição de carga em um único eixo. A decomposição de forças pode ser também efetuada tanto em curvas planas quanto em direções tridimensionais.

Dispondo as peças em planos curvos, simples ou duplamente, a vantagem da redistribuição das forças dos sistemas de vetor-ativo é integrada e, assim, é estabelecido um mecanismo de transmissão de carga coesivo e resistente aos esforços: sistema de treliças curvas.

A expansão biaxial das vigas em treliça triangulada conduz aos suportes espaciais planos.

O conhecimento da geometria do espaço, das sistemáticas dos poliedros e das leis da trigonometria esférica é um requisito prévio para a utilização das múltiplas possibilidades de projeto de treliças espaciais.

O mecanismo de redistribuição de forças dos sistemas de vetor-ativo pode ser aplicado também em outros tipos de sistemas estruturais, especialmente se estes, devido ao aumento do peso próprio, tenham atingido os limites de possibilidade de execução. Assim, arcos, pórticos ou cascas também podem ser projetados como sistemas em treliça.

Com relação à distribuição de esforços, os sistemas estruturais de vetor-ativo podem ser comparados com as estruturas compactas que possuem a mesma forma: em uma viga entreliçada apoiada simplesmente com cordas paralelas, os esforços nas barras relativas à direção e grandeza são semelhantes aos esforços internos de uma viga reta também apoiada em ambas as extremidades.

Já que as composições de vetor-ativo são muito eficientes com relação às condições de carga variável, e uma vez que são compostas por elementos em linha reta de pequeno porte, são altamente apropriadas para os sistemas estruturais de forma vertical, nas construções tipo arranha-céus.

Os sistemas de vetor-ativo têm grandes vantagens como sistemas estruturais verticais para construção de arranha-céus. Compostos convenientemente, podem combinar as funções estruturais de agrupamento linear das cargas, de transmissão direta destas e de estabilidade lateral ao vento.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo, devido à sua possibilidade ilimitada de expansão tridimensional com elementos padronizados, com um mínimo de obstrução do espaço, são a forma estrutural adequada às cidades dinâmicas do futuro.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo são requisitos prévios para uma ampla invasão do planejamento urbano na terceira dimensão da altura. Somente por meio de estruturas espaciais de vetor-ativo pode-se alcançar um domínio técnico do espaço tridimensional em escala urbana.

O conhecimento dos sistemas estruturais de vetor-ativo é, portanto, imprescindível, não só para o projetista de grandes arranha-céus mas também para o planejador de estruturas tridimensionais de futuras cidades.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo, em seu esqueleto transparente, são uma expressão convincente do gênio inventivo do homem para manipular as forças e dominar a gravidade.

Devido ao tratamento puramente técnico de treliças, o potencial estético dos sistemas de vetor-ativo permanece sem uso. O emprego dos sistemas estruturais de vetor-ativo nas construções de edifícios é caracterizado, portanto, pelo desempenho estrutural de alto nível, por um lado, e por um descuido estético, por outro.

Com o desenvolvimento de juntas limpas e salientes, e seções de barras leves e simples, a estrutura triangulada e os sistemas em treliça nas construções do futuro serão também dirigidas esteticamente e desempenharão esse papel formal que o potencial estético e estrutural do projeto merece.

# Vector activo 2

## Sistemas de estructuras de

Definición / Definição

LOS SISTEMAS DE ESTRUCTURAS DE VECTOR ACTIVO son sistemas portantes formados por elementos lineales (barras), en los que la transmisión de las fuerzas se realiza por DESCOMPOSICIÓN VECTORIAL, es decir, a través de una SUBDIVISIÓN MULTIDIRECCIONAL DE LAS FUERZAS

OS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE VETOR-ATIVO são sistemas de estrutura de elementos sólidos e em linha reta (barras, hastes), nos quais a redistribuição de forças faz-se efetiva através da DECOMPOSIÇÃO VETORIAL, isto é, através da DIVISÃO MULTIDIRECIONAL DE FORÇAS

Fuerzas / Forças

Los elementos del sistema (cordones, barras) están sometidos a compresiones o bien a tracciones:
SISTEMAS MIXTOS DE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN

Os componentes do sistema (cordas, barras) são sustentados em parte por compressão, em parte por tensão:
SISTEMAS MISTOS DE COMPRESSÃO E TENSÃO

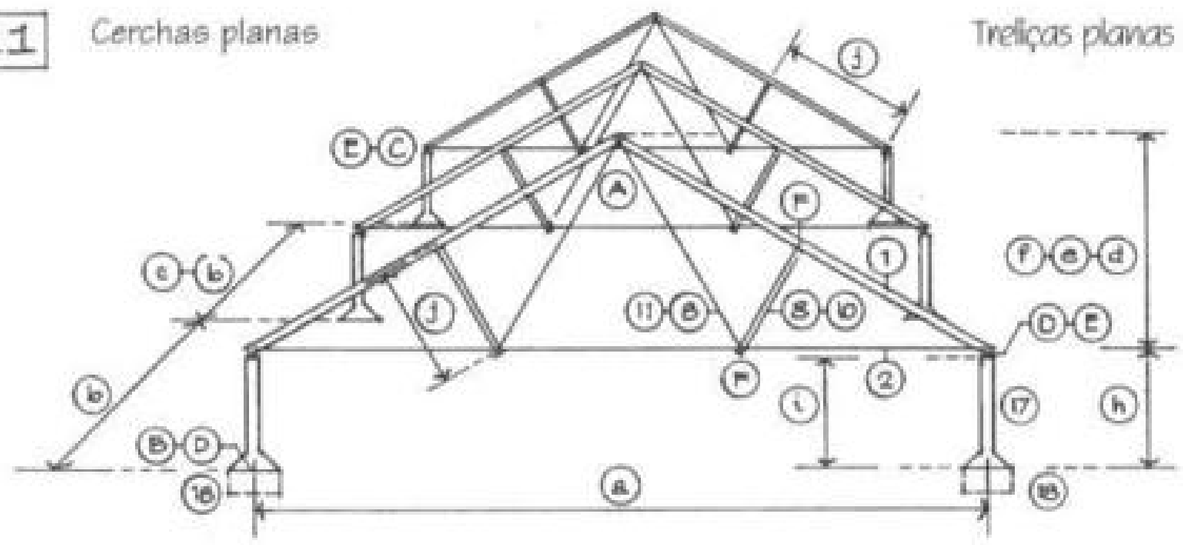
Características

Las características estructurales típicas son:
TRIANGULACIÓN y UNIÓN MEDIANTE NUDOS

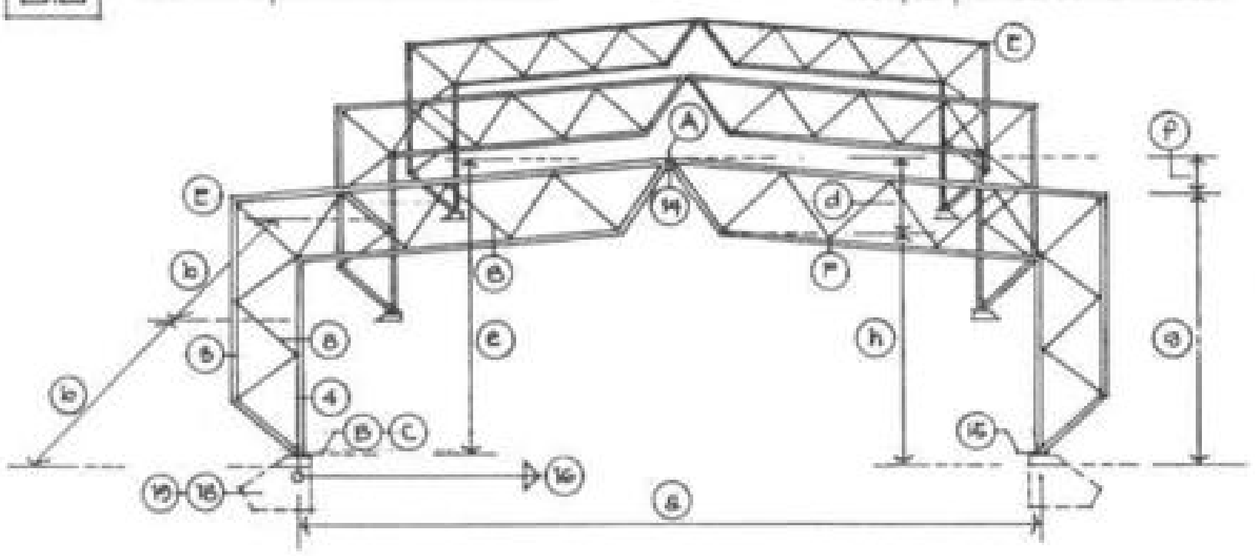
As características típicas desta estrutura são:
TRIANGULAÇÃO e PONTO DE CONEXÃO

## Componentes y denominaciones / Componentes e denominações

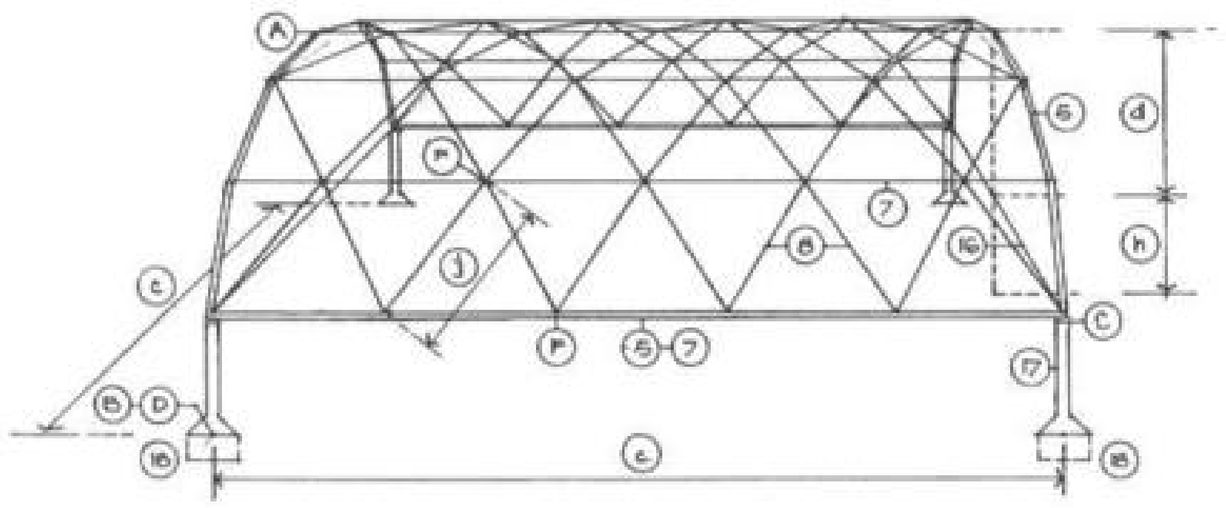
2.1 Cerchas planas / Treliças planas



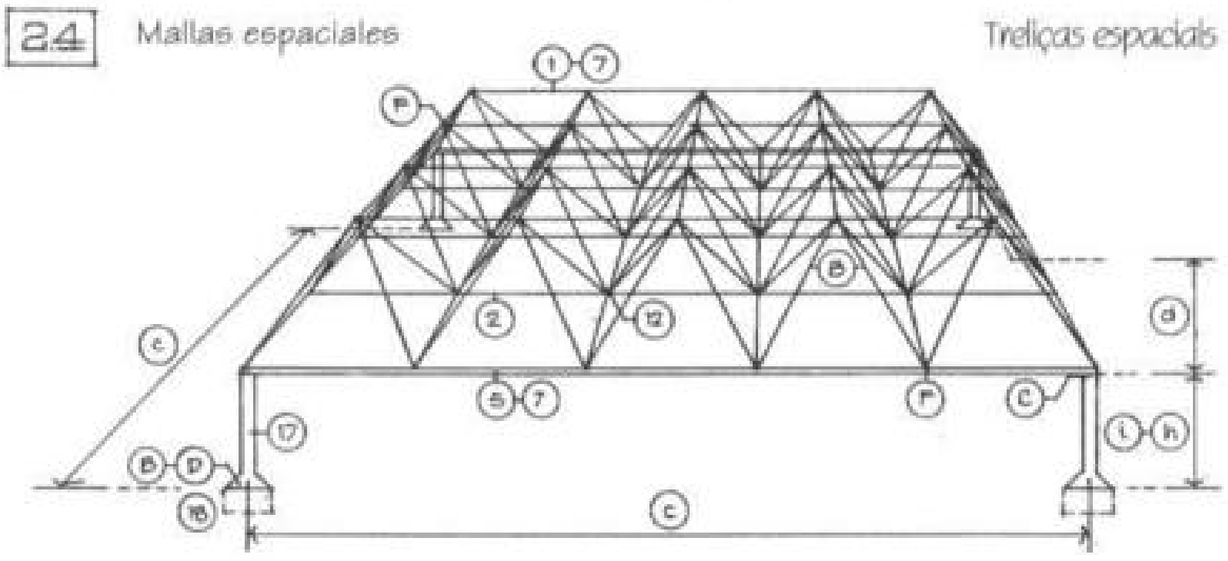
2.2 Cerchas planas combinadas / Treliças planas combinadas



2.3 Cerchas curvas / Treliças curvas



2.4 Mallas espaciales / Treliças espaciais



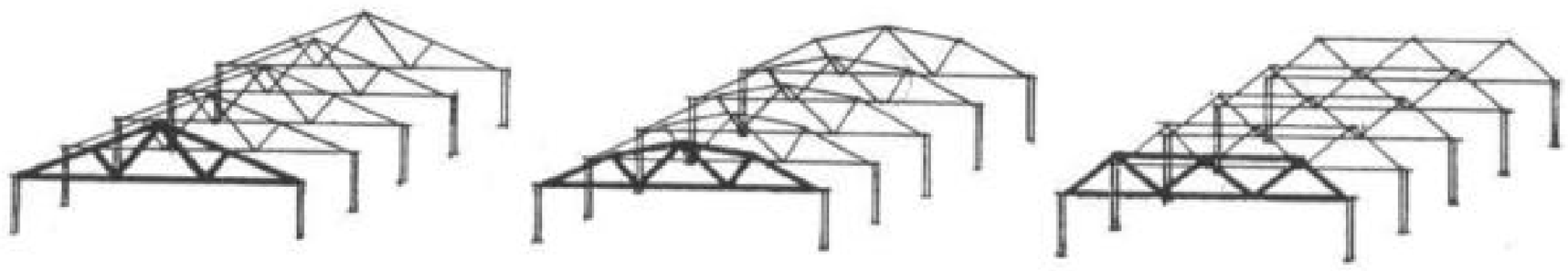
| Elemento del sistema | Membros do sistema |
|---|---|
| ① Cordón superior | Corda de topo |
| ② Cordón inferior | Corda inferior |
| ③ Cordón exterior | Corda externa |
| ④ Cordón interior | Corda interna |
| ⑤ Cordón perimetral | Corda de borda, corda de limite |
| ⑥ Cordón transversal | Corda cruzada |
| ⑦ Cordón longitudinal | Corda longitudinal |
| ⑧ Barra | Barra de alma cheia, barra, haste |
| ⑨ Barra diagonal, jabalcón | Barra diagonal |
| ⑩ Barra a compresión | Barra de compressão (haste) |
| ⑪ Barra a tracción | Barra de tensão (haste) |
| ⑫ Nudo, unión puntual | Junta , ponto de conexão |
| ⑬ Articulación | Dobradiça, pino de junta |
| ⑭ Articulación de cumbrera | Corda de dobradiça, dobradiça superior |
| ⑮ Articulación de base | Base de dobradiça |
| ⑯ Tirante | Tirante, tirante traseiro |
| ⑰ Pilar | Coluna, suporte |
| ⑱ Cimentación | Fundação, base |
| ⑲ Estribo / Contrafuerte | Contraforte, estribo |
| ⑳ Apoyo | Suporte, apoio |
| ㉑ Empotramiento | Suporte com final fixo, empotramento |

| Puntos topográficos del sistema | Sistema topográfico de pontos |
|---|---|
| Ⓐ Cumbrera | Pico, topo, coroa |
| Ⓑ Base | Ponto base |
| Ⓒ Apoyo | Ponto de apoio, ponto de suporte |
| Ⓓ Empotramiento | Ponto com final fixo, empotramento |
| Ⓔ Alero | Ponto de beiral |
| Ⓕ Nudo | Ponto de conexão, nó |

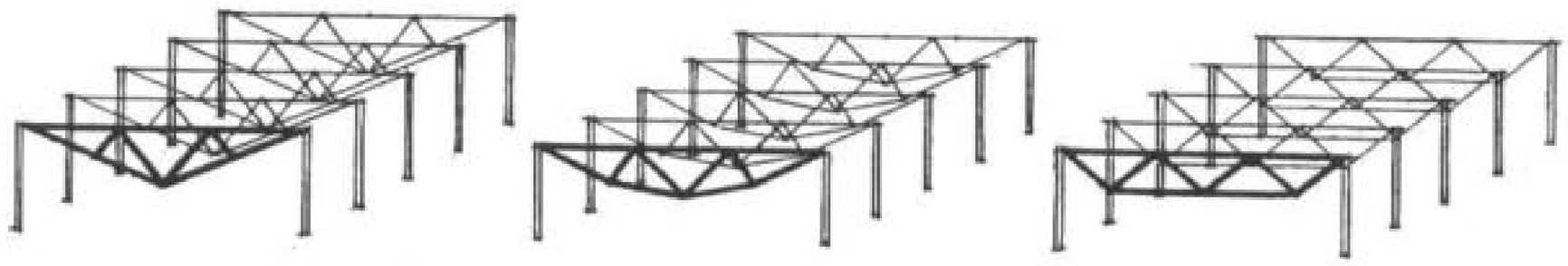
| Dimensiones del sistema | Dimensões do sistema |
|---|---|
| ⓐ Luz | Vão |
| ⓑ Separación entre pórticos | Distância entre pórticos |
| ⓒ Separación entre pilares | Distância entre colunas |
| ⓓ Altura de la estructura | Altura da estrutura |
| ⓔ Altura de las cerchas | Altura da treliça |
| Ⓕ Pendiente | Subida, elevação |
| ⓖ Altura del alero | Altura beirais |
| ⓗ Altura libre | Espaço livre, altura livre |
| ⓘ Altura pilares, longitud pilares | Altura da base, comprimento do pilar |
| ⓙ Longitud de las barras | Comprimento do tirante, comprimento da barra |

## 2.1 Cerchas planas / Treliças planas

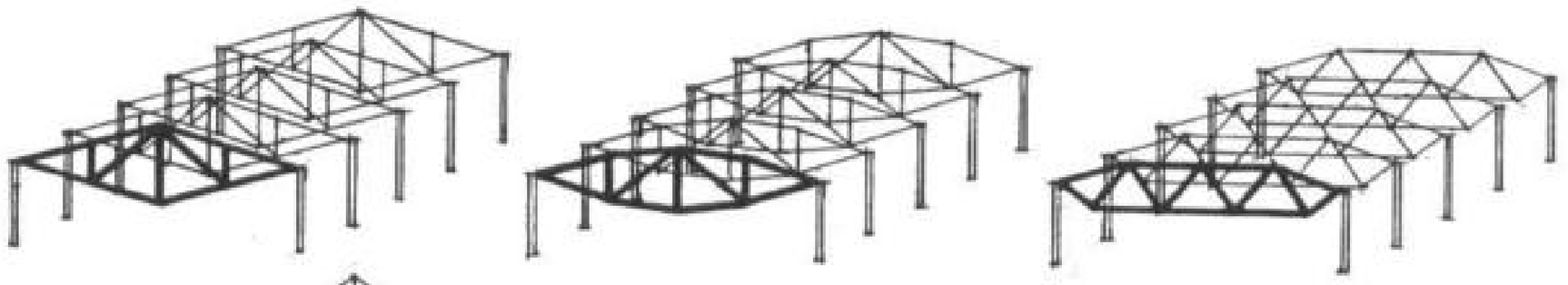
Sistemas de cordón superior
Sistema de corda de topo



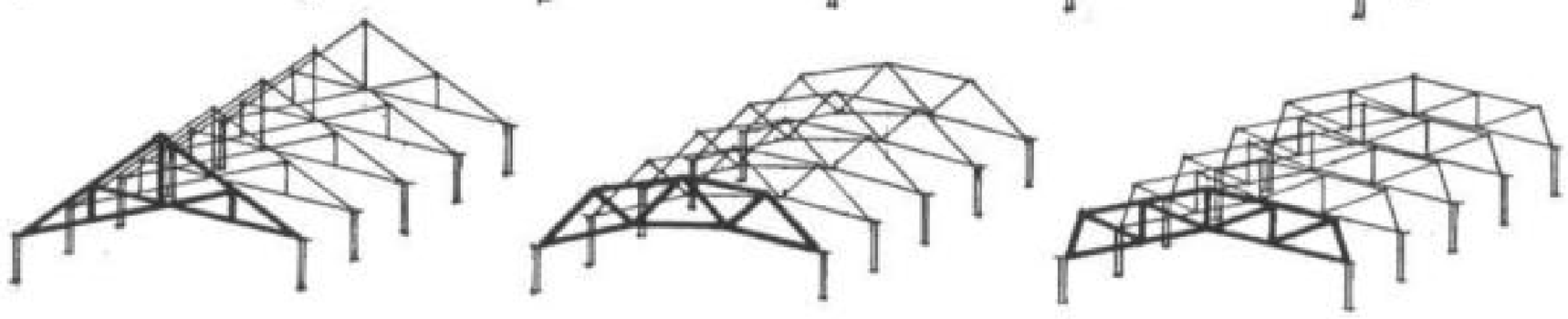
Sistemas de cordón inferior
Sistema de corda inferior



Sistemas de dos cordones
Sistema de corda dupla

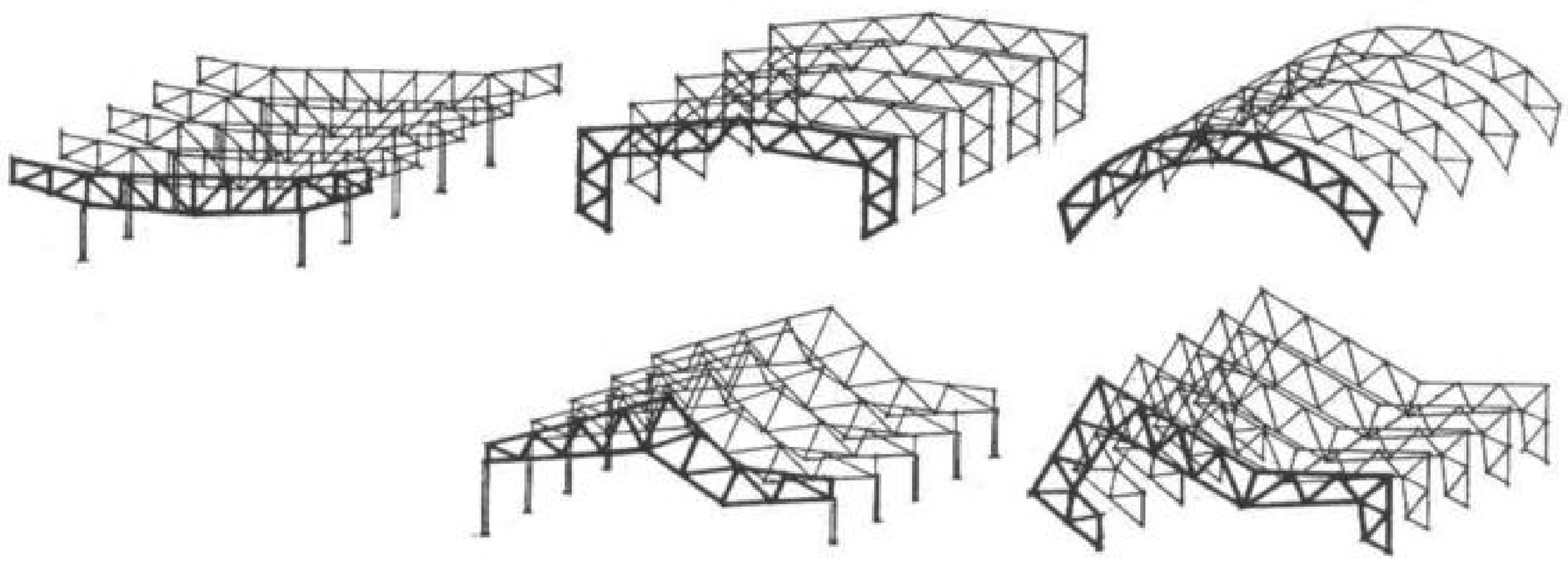


Sistemas sobreelevados
Sistemas em contraflecha

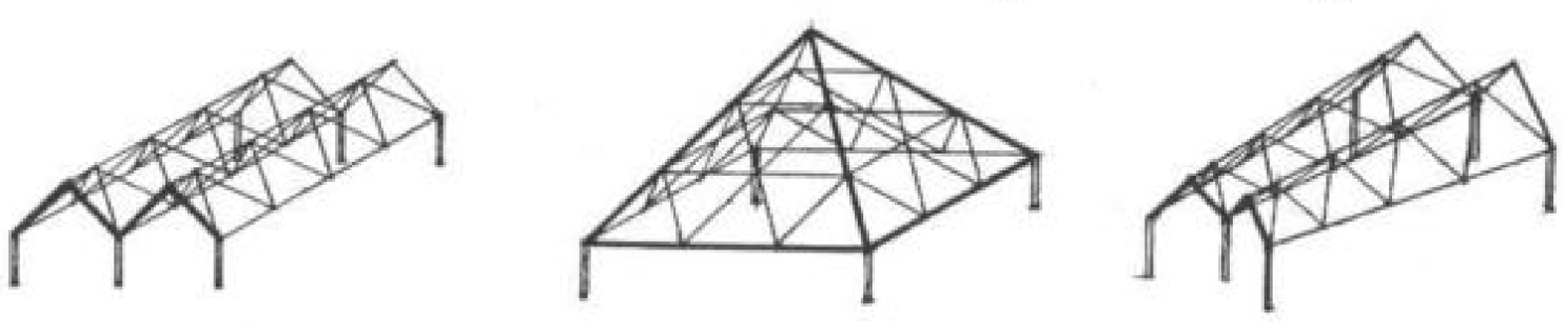


## 2.2 Cerchas planas combinadas / Treliças planas combinadas

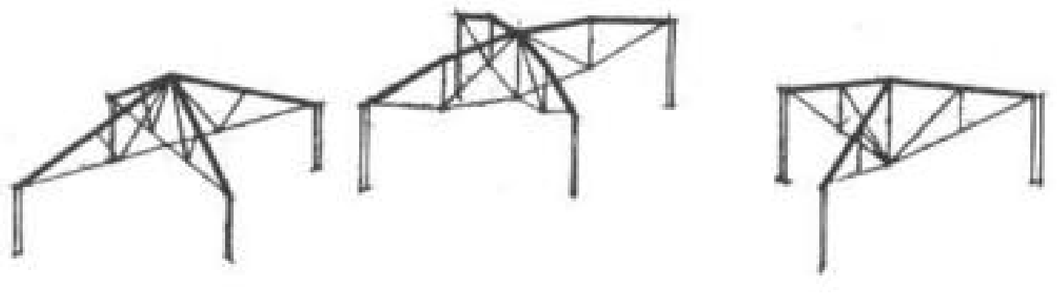
Sistemas lineales
Sistemas lineares



Sistemas plegados
Sistemas dobrados

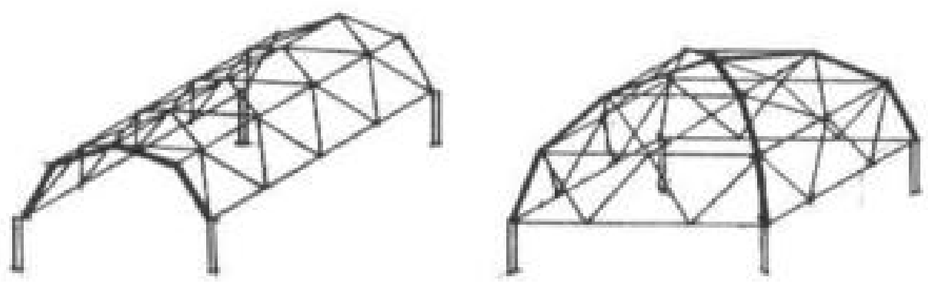


Sistemas cruzados
Sistemas cruzados

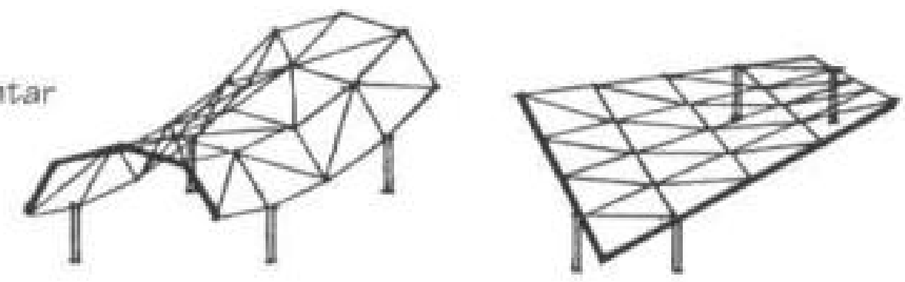


## 23 Cerchas curvas / Treliças curvas

Sistemas de curvatura simple
Sistemas de curva simples

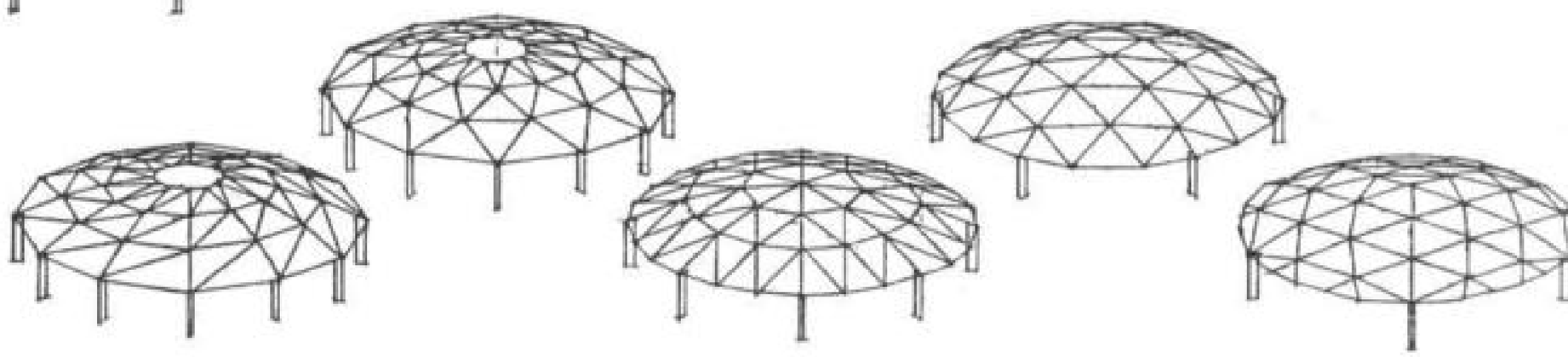


Sistemas en forma de silla de montar
Sistemas em forma de sela



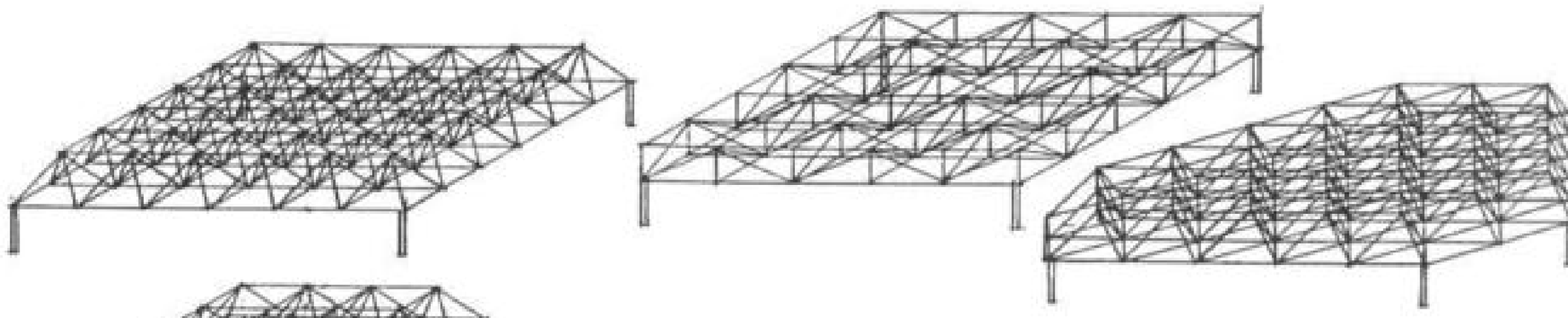
Sistemas en forma de cúpula
Sistemas em forma de cúpula

Sistemas de forma esférica
Sistemas de forma esférica

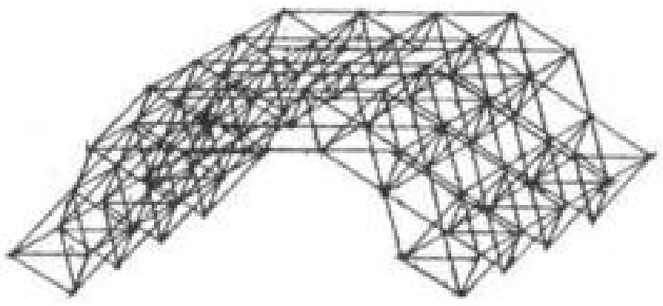


## 24 Mallas espaciales / Treliças espaciais

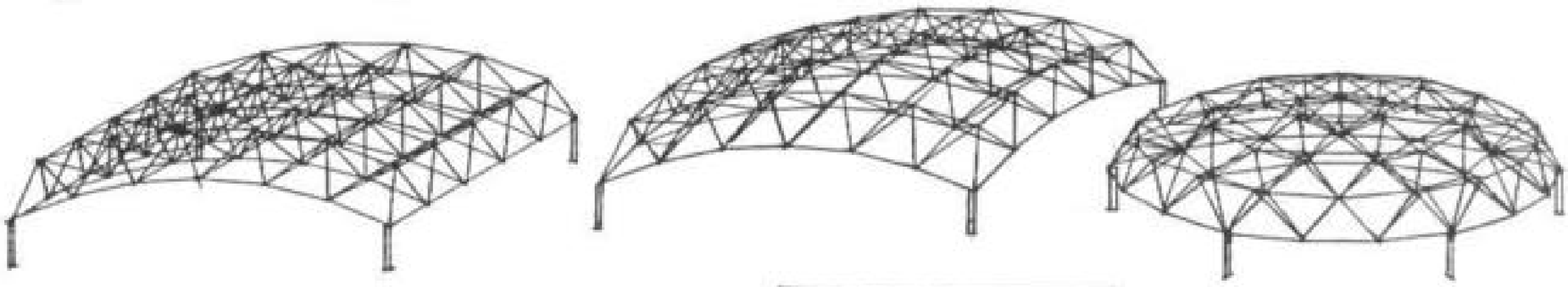
Sistemas planos
Sistemas planos



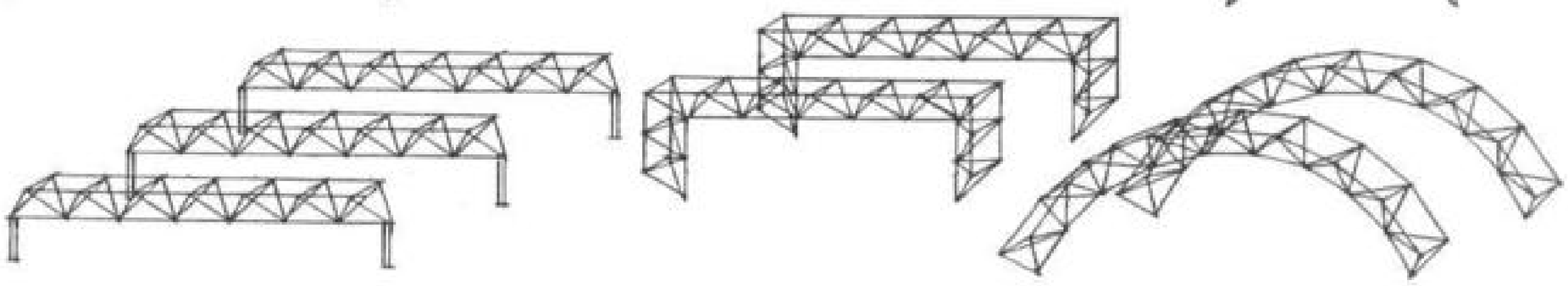
Sistemas plegados
Sistemas dobrados



Sistemas curvos
Sistemas curvos

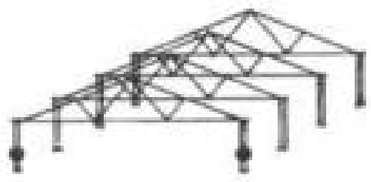
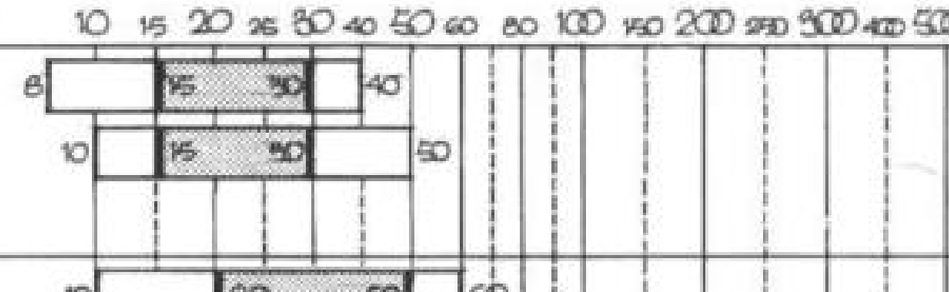
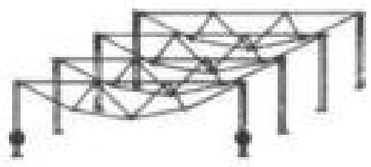
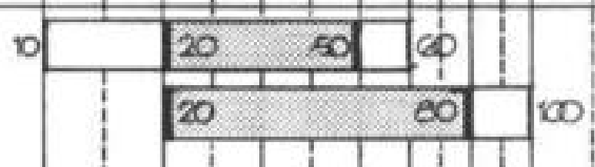
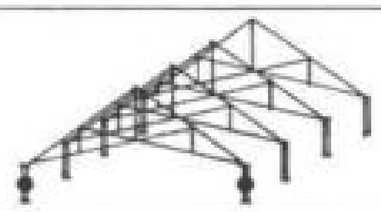
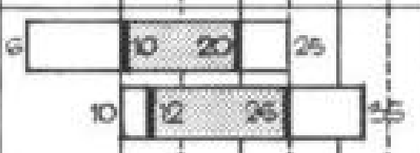
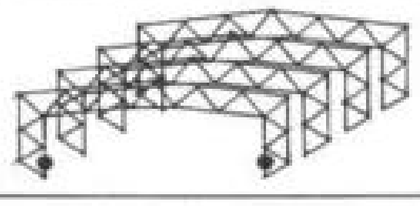
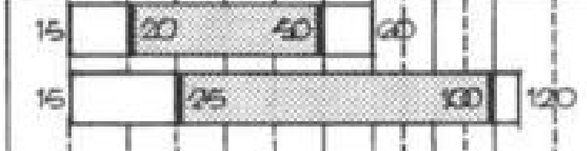
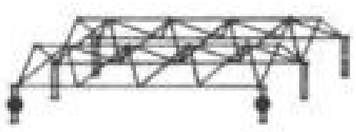
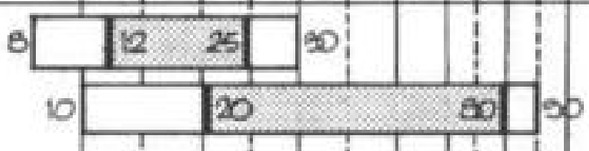
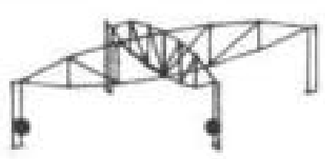
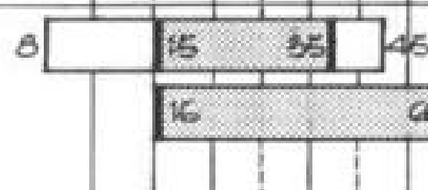
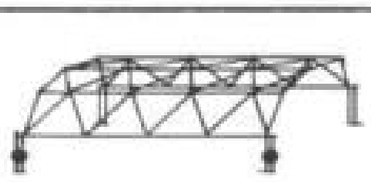
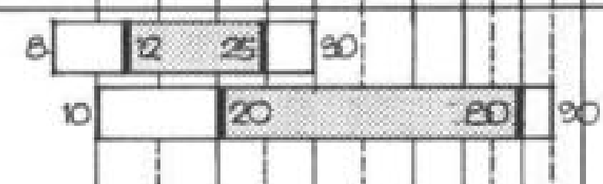
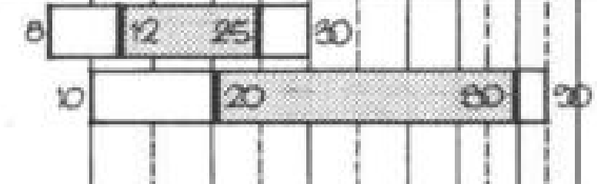
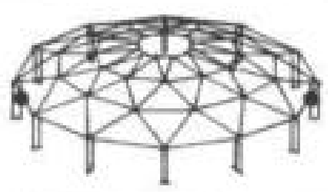
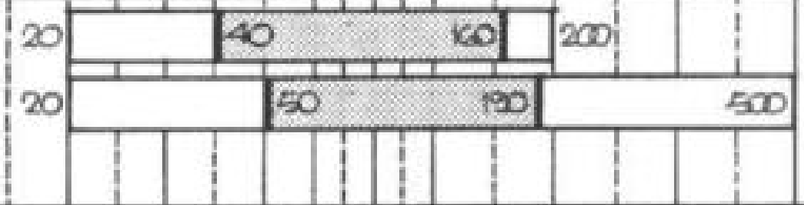
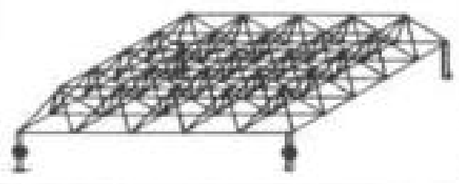
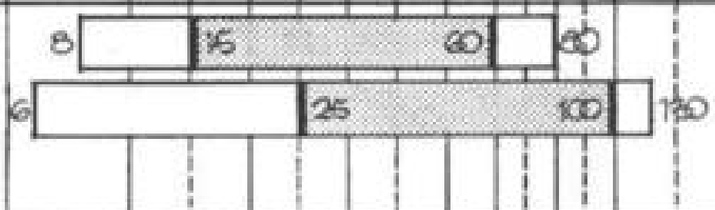
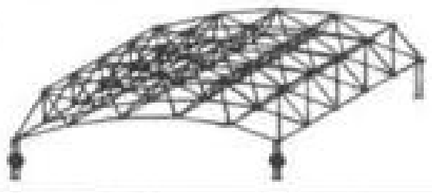
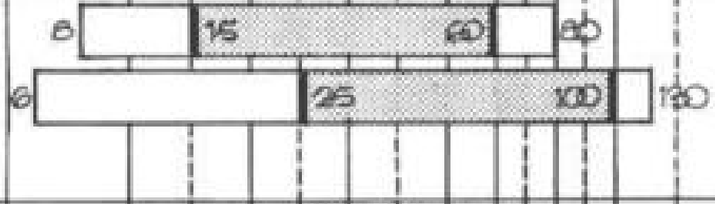
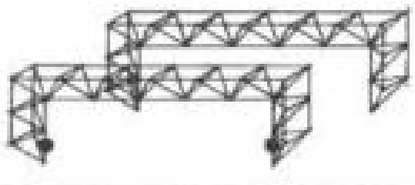
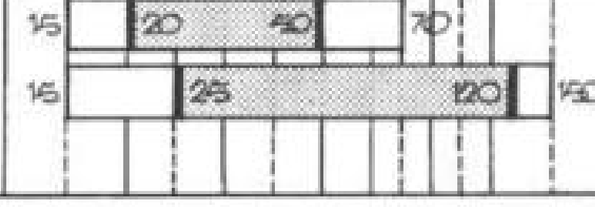


Sistemas lineales
Sistemas lineares



## Aplicaciones: sistema estructural - material - luz

## Aplicações: sistema de estrutura - material - vão

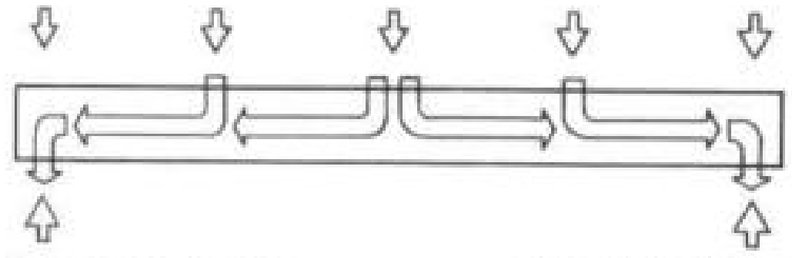
| Sistema estructural / Sistema de estruturas | | Material principal / Matéria prima | Luz en metros / Vão em metros |
|---|---|---|---|
| Cerchas planas 2.1 Treliças planas |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| Cerchas planas combinadas 2.2 Treliças planas combinadas |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| Cerchas curvas 2.3 Treliças curvas |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| | | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| Mallas espaciales 2.4 Treliças espaciais |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |
| |  | madera / madeira<br>metal (acero) / metal (aço) |  |

A cada tipo de estructura le corresponde un estado de tensiones propio de sus componentes. De esto resultan condicionantes inevitables para la elección de los principales materiales de construcción y su situación respecto a las luces.

Em cada tipo de estrutura há uma condição inerente de tensão específica de seu componentes. Essa característica essencial submete o projeto das estruturas a associações racionais na escolha do tecido estrutural principal e na atribuição da capacidade de vão.

## Mecanismo de cercha / Comparación con otros mecanismos de reconducción de fuerzas

## Comparação do mecanismo de treliça com outros mecanismos de redistribuição de forças.

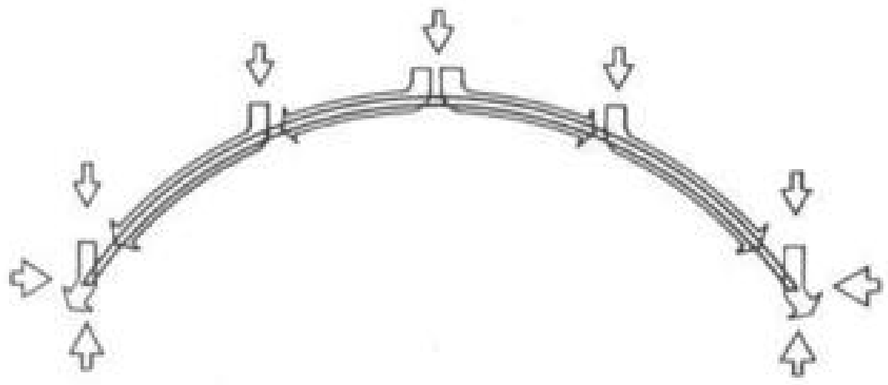


Mecanismo de viga

Mecanismo de viga

Transmisión de fuerzas mediante la sección del material.

Redistribuição das forças externas por meio de seção material rígida.

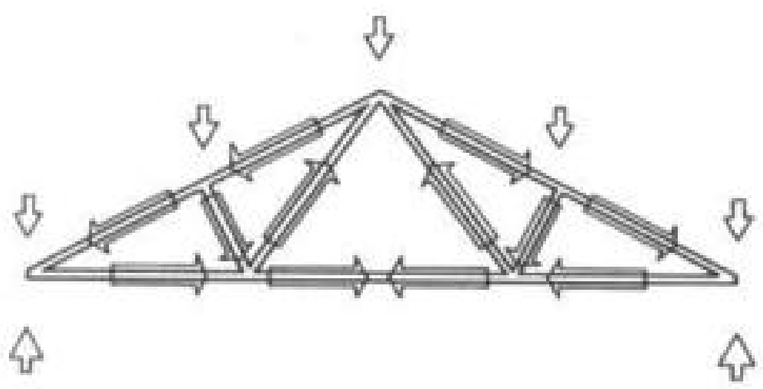


Mecanismo de arco

Mecanismo de arco

Transmisión de fuerzas exteriores mediante forma material adecuada.

A Redistribuição de forças externas por meio de forma material apropriada.



Mecanismo de cercha

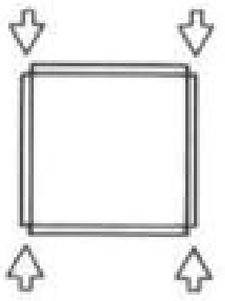
Mecanismo de treliça

Transmisión de fuerzas exteriores mediante el esquema adecuado de barras individuales.

Redistribuição de forças externas por meio de disposição adequada de barras individuais.

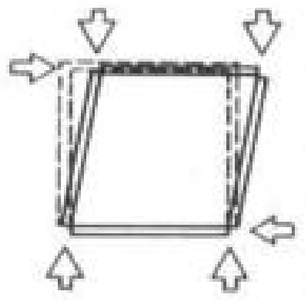
## Arriostramiento de cercha mediante triangulación del bastidor

## Rigidez da treliça por meio da triangulação do quadro.



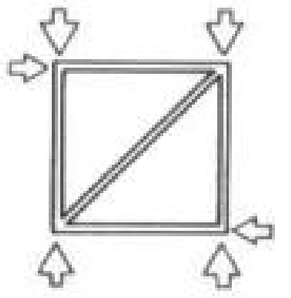
Un bastidor con cuatro articulaciones en las esquinas sólo está en equilibrio en teoría.

O pórtico com quatro articulações nos cantos está em equilíbrio apenas teoricamente.



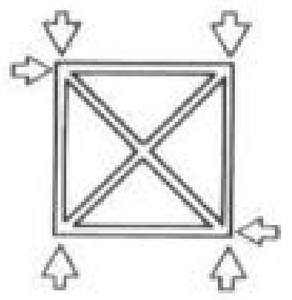
Con una carga asimétrica, el sistema no funciona si las esquinas no se rigidizan.

Sob carga assimétrica, o sistema não funcionará enquanto os cantos permanecerem flexíveis.



Las barras diagonales impiden la deformación. El bastidor se convierte en cercha.

A barra diagonal resiste à deformação. O pórtico transforma-se em treliça.



Una segunda barra diagonal aumenta el arriostramiento, pero no es imprescindible para el efecto vectorial.

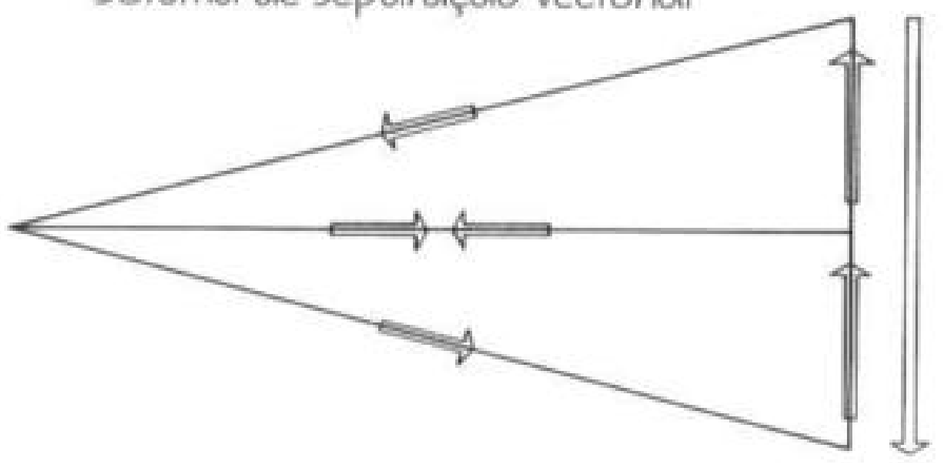
A segunda barra diagonal aumenta a rigidez, mas não é um requisito para a ação vetorial.

## Sistema de separación de vectores

## Sistema de separação vetorial

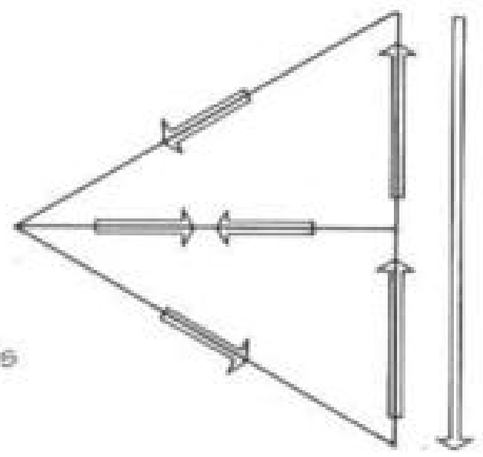
Cada fuerza exterior se conserva en equilibrio mediante dos o más fuerzas vectoriales

Cada carga externa é mantida em balanço por duas ou mais forças vetoriais



El canto se reduce: los esfuerzos en las barras aumentan, porque su componente en dirección de la acción exterior se reduce, perdiendo así efectividad.

A altura da construção é reduzida: as forças nas barras aumentam, porque sua componente na direção da carga externa diminui e torna-se menos eficiente.

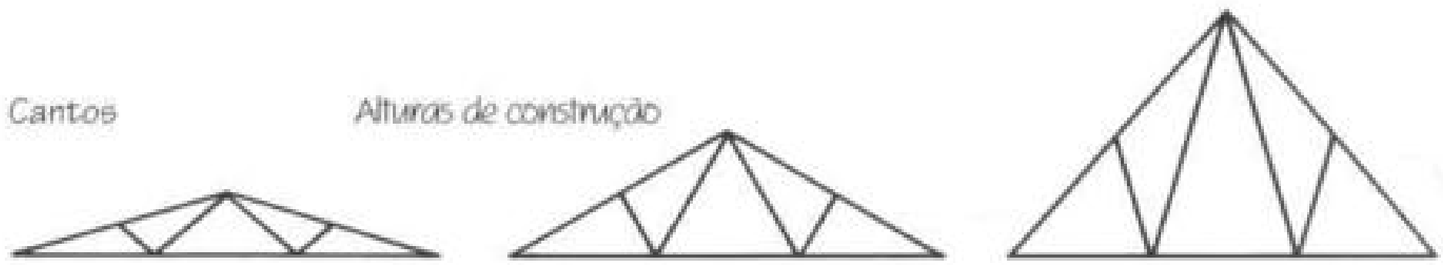


El canto aumenta: los esfuerzos en las barras se reducen, porque su componente en dirección de la acción exterior aumenta, resultando más efectiva.

A altura da construção é aumentada: as forças nas barras diminuem, porque sua componente na direção da carga externa aumenta e torna-se mais eficiente.

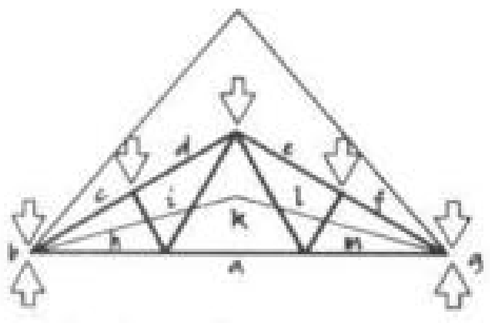
Influencia del canto en la carga sobre las barras

Influência da altura da construção nos esforços das barras de alma cheia

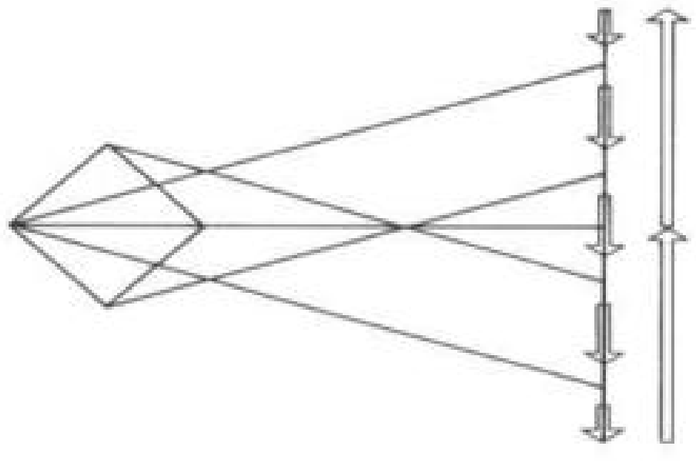


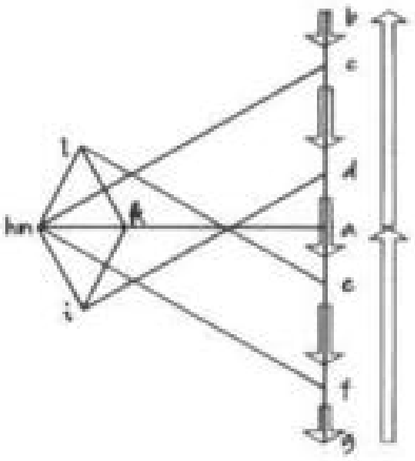

Nudos Nós

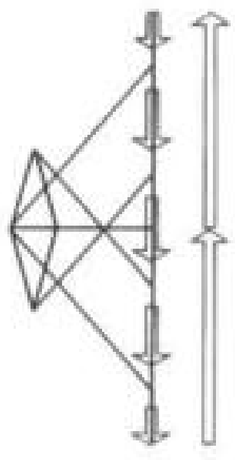
Esfuerzos vectoriales Esforços vetoriais

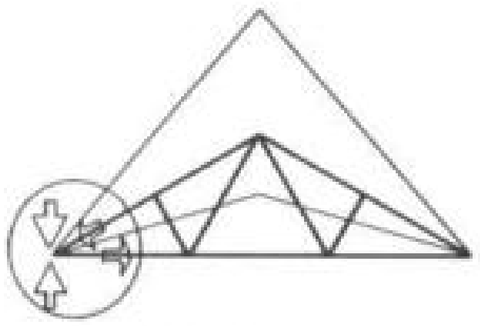


todos los nudos todos os nós

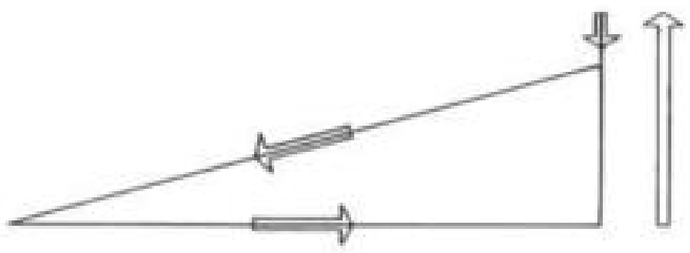


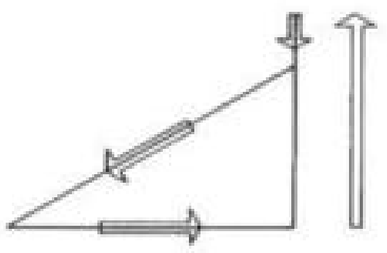


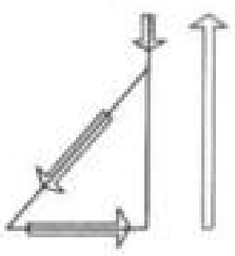


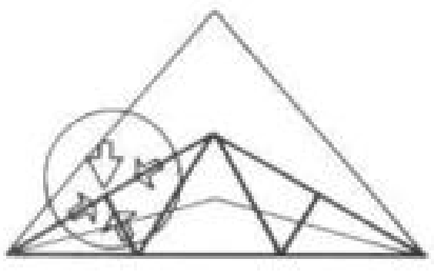


nudo en apoyo nó no apoio

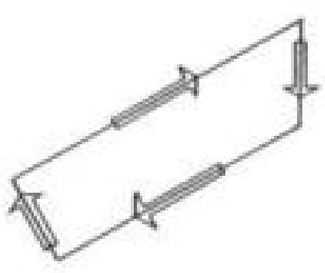


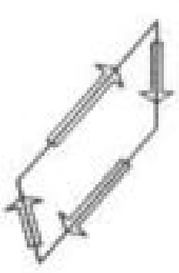


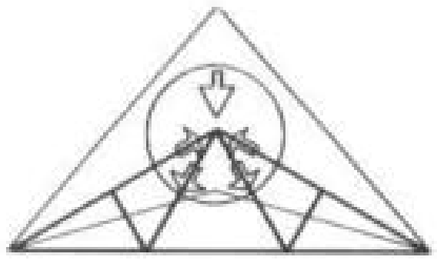




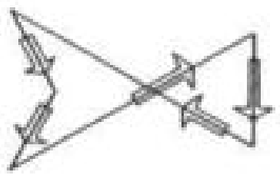
nudo en cordón superior nó na corda de topo

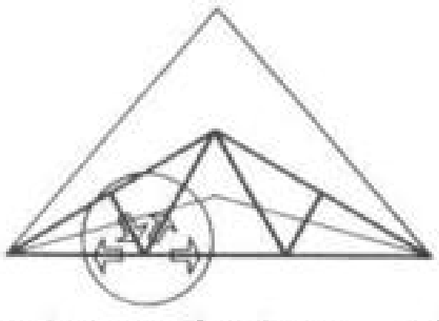




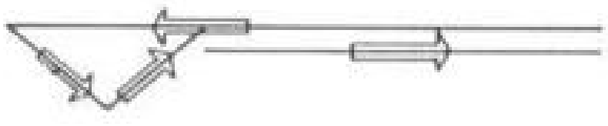


nudo en vértice nó na cumeeira

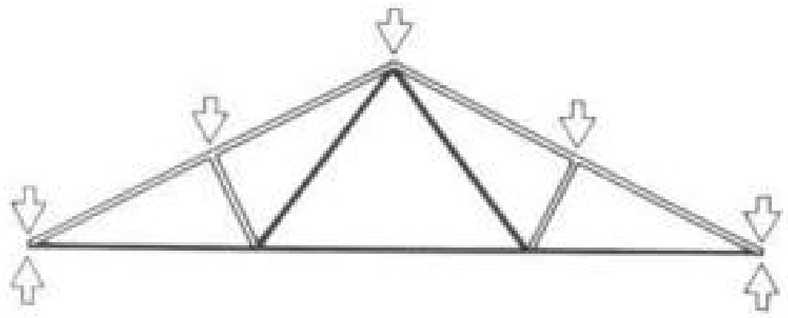




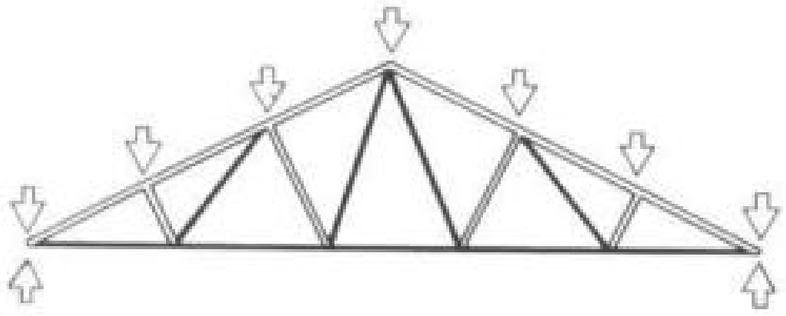
nudo en cordón inferior nó na corda inferior



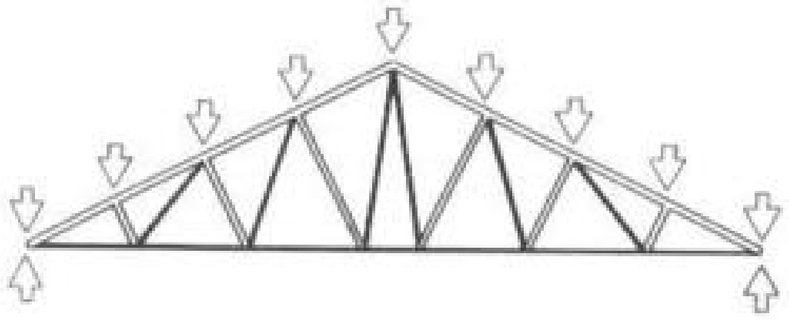
## Influencia de la división del esquema de barras sobre la distribución de tensiones
## Influência da divisão do painel na distribuição dos esforços



esquema de barras en 4 áreas
esquema com 4 painéis

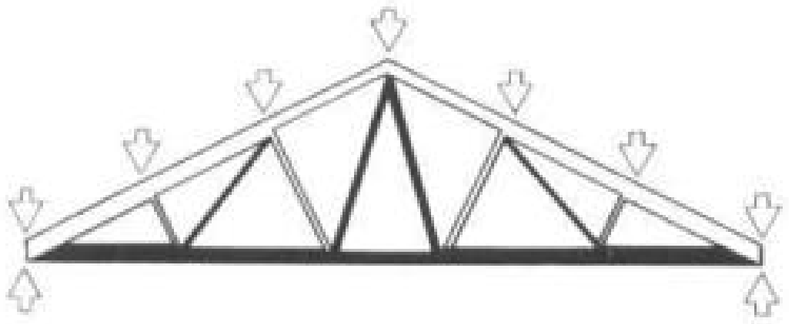


esquema de barras en 6 áreas
esquema com 6 painéis

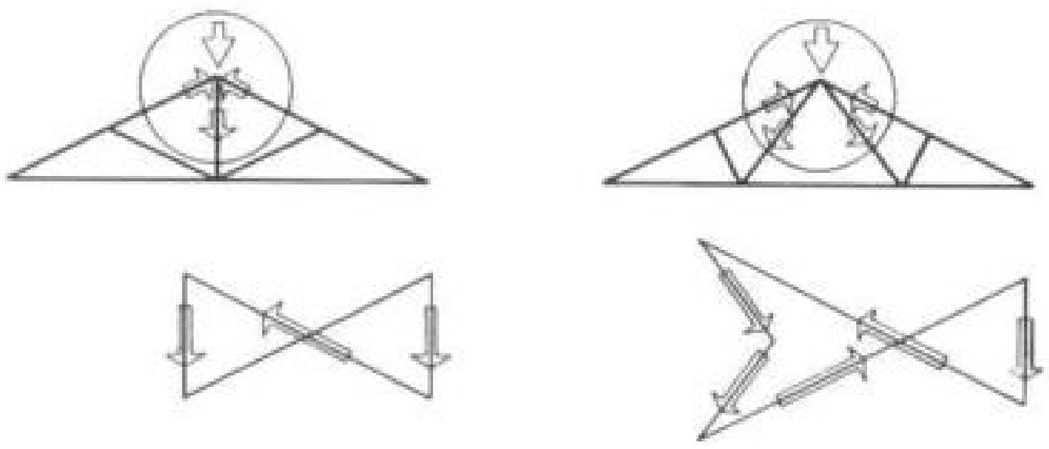


esquema de barras en 8 áreas
esquema com 8 painéis

## Comparación de dimensiones tensionales en las barras individuales
## Comparação das tensões nas barras individuais



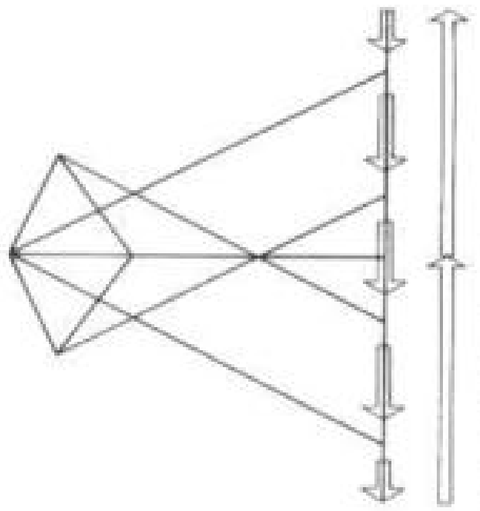
## Influencia de la distribución de las barras en la distribución de tensiones en los nudos
## Influência da disposição na distribuição dos esforços nos nós



A pesar de la introducción de una barra adicional, las tensiones aumentan en las barras del vértice por la disposición poco efectiva de los ángulos en las barras intermedias.

Apesar da introdução de uma viga adicional, os esforços no espigão aumentarão, por causa dos ângulos pouco efetivos nas barras.

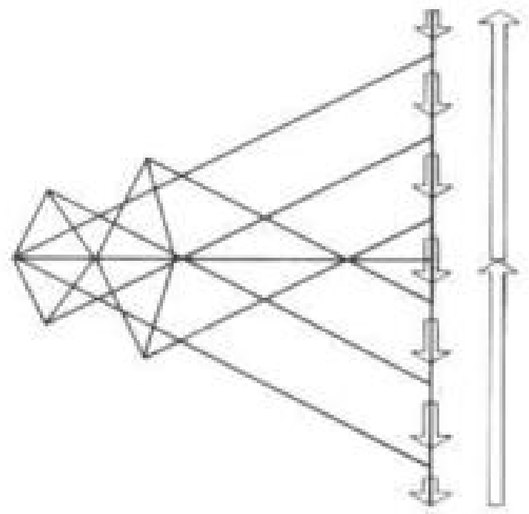
## Cercha Polanceau
## Treliça belga



cuatro módulos — 4 painéis

Tensiones principales (compresión) en las barras del cordón superior.

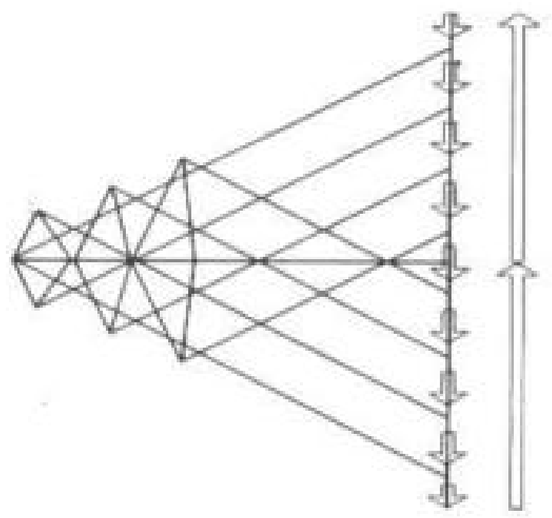
Esforço principal (compressão) nas barras superiores com comprimentos de flambagem críticos.



seis módulos — 6 painéis

Reducción considerable de las longitudes de pandeo en el cordón superior. Notable bajada de tensiones en las barras diagonales.

Redução considerável do comprimento de flambagem nas barras superiores. Redução considerável de esforços nas barras diagonais.

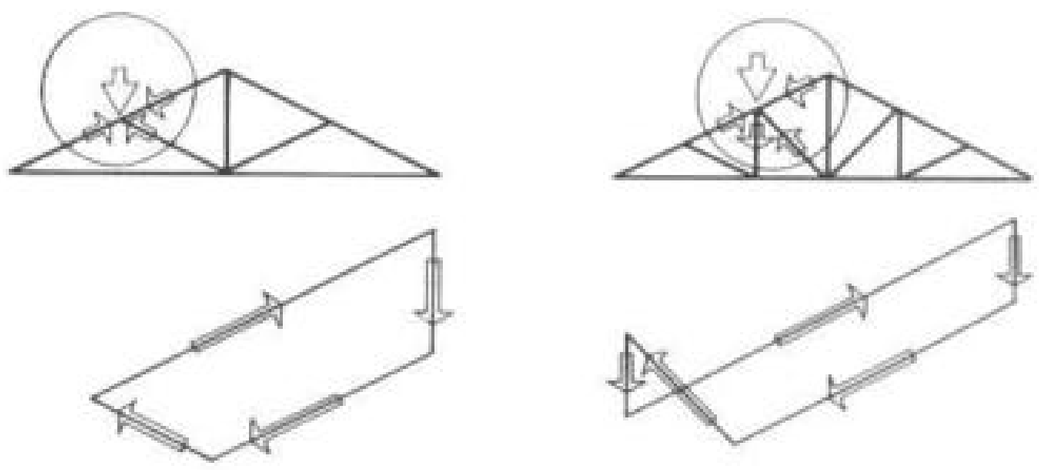


ocho módulos — 8 painéis

Reducción menor de las longitudes de pandeo del cordón superior. La tensión en las barras diagonales apenas baja.

Menor redução do comprimento de flambagem nas barras superiores. Redução não muito grande dos esforços nas barras diagonais.

## Estado de carga uniforme
## Carga uniforme da treliça



A pesar del aumento de barras, las tensiones en el nudo apenas se reducen debido al cambio de ángulos de las barras intermedias.

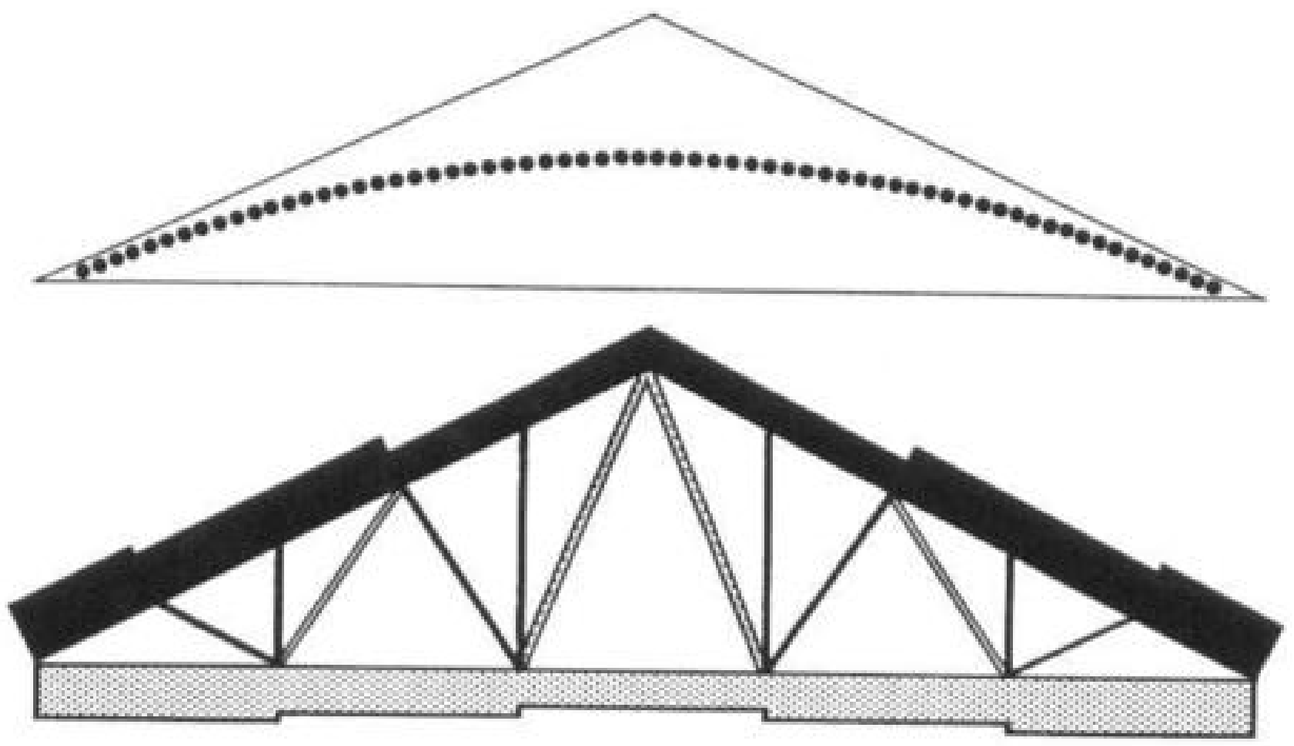
Apesar do aumento de barras os esforços nas barras dificilmente decrescerão, por causa dos ângulos diferentes das barras.

## Influencia del perfil de la cercha sobre los cordones y las barras

Análogamente a la catenaria, la línea funicular dibuja el camino natural de las fuerzas de compresión hacia los apoyos dentro de una materia homogénea. Mediante la comparación del perfil de la cercha se pueden sacar conclusiones sobre los esfuerzos dentro de la cercha. La norma general es que cuanto mayor es la distancia de la materia estructural de la línea funicular, menos efectiva es la reconducción de los esfuerzos y la economía.

## Influência do perfil de treliça na distribuição de esforços nas cordas e barras

*Analogamente à catenária, a linha de empuxo funicular delineia o caminho natural de forças compressoras (isto é, determinado por gravidade) aos suportes dentro do tecido estrutural homogêneo. Comparando isso com o perfil de treliça, podem ser traçadas conclusões sobre a distribuição de esforços dentro da treliça.*
*A regra geral é: quanto maior a distância entre o tecido estrutural da linha funicular, menor é a eficácia da força de redistribuirão e a economia.*



Cercha triangular

El perfil de la cercha sólo se acerca a la línea funicular en los puntos de apoyo. Aquí se aprovecha la capacidad de los cordones en su totalidad, produciéndose los esfuerzos máximos.

Concentración crítica en el área de los apoyos.

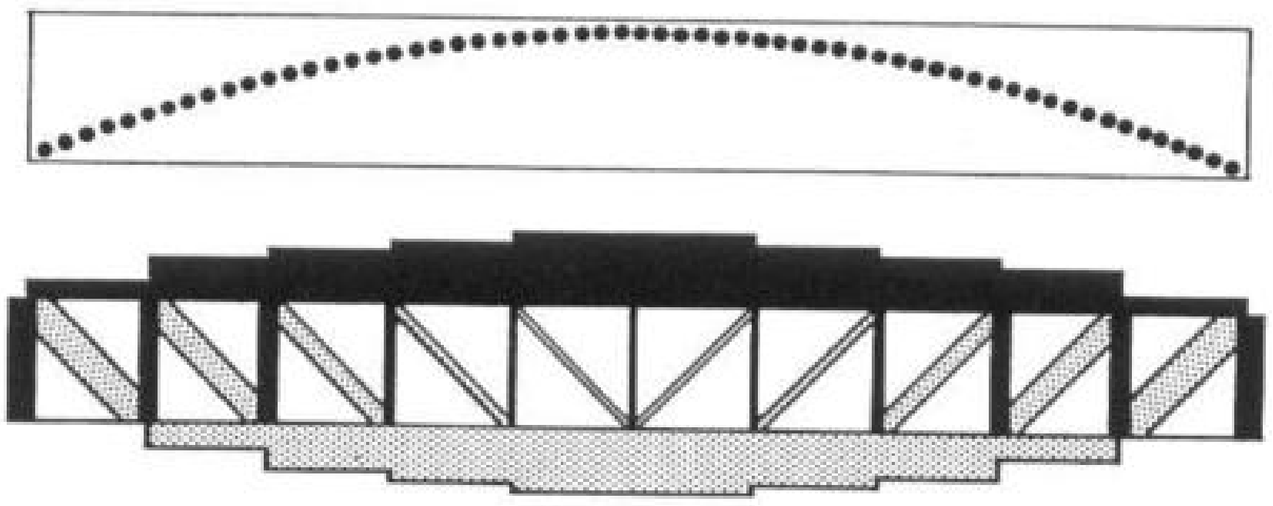
Treliça de duas águas

Somente nos pontos de apoio, o perfil da treliça aproxima-se da linha de empuxo funicular. Aqui, a capacidade das cordas é totalmente utilizada; e desenvolver-se-ão forças máximas.

Concentração crítica de forças em direção aos suportes.

compresión / compressão

tracción / tração



Cercha de cordones paralelos

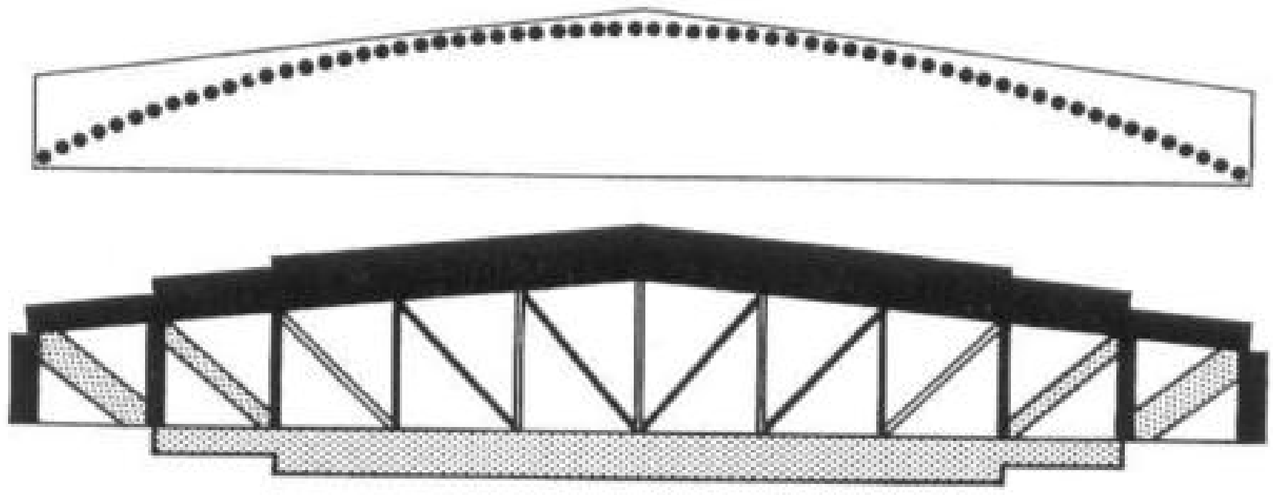
El perfil de la cercha sólo se corresponde con la funicular en la zona central. Aquí se aprovecha la capacidad de los cordones en su totalidad; produciéndose los esfuerzos máximos.

Concentración crítica en la zona central.

Treliça de corda paralela

Somente na zona central, o perfil de treliça corresponde com a linha de empuxo funicular. Aqui a capacidade das cordas é totalmente utilizada e desenvolver-se-ão forças máximas.

Concentração crítica de forças na zona central.



Cercha trapezoidal

El perfil de la cercha se corresponde básicamente con la funicular. Los cordones reciben la carga a lo largo de una zona central más amplia; los esfuerzos se reparten de forma equitativa.

Reparto de esfuerzos más equilibrado con su punto principal en el centro de la cercha.

Treliça de corda trapezoidal

O perfil de treliça está amplamente de acordo com a linha funicular. As cordas são tensionadas na zona central ao longo de uma distância muito maior; as forças são distribuídas mais uniformemente.

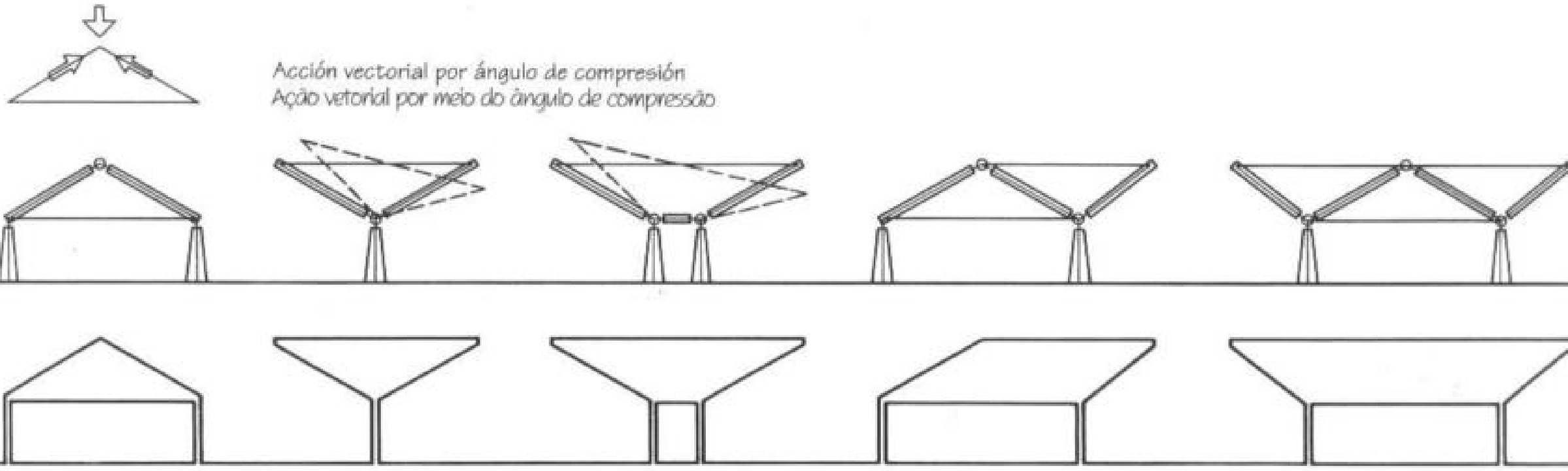
Distribuição balanceada de forças culminando no centro da treliça.

## Derivación de las formas básicas para cerchas bidimensionales sencillas

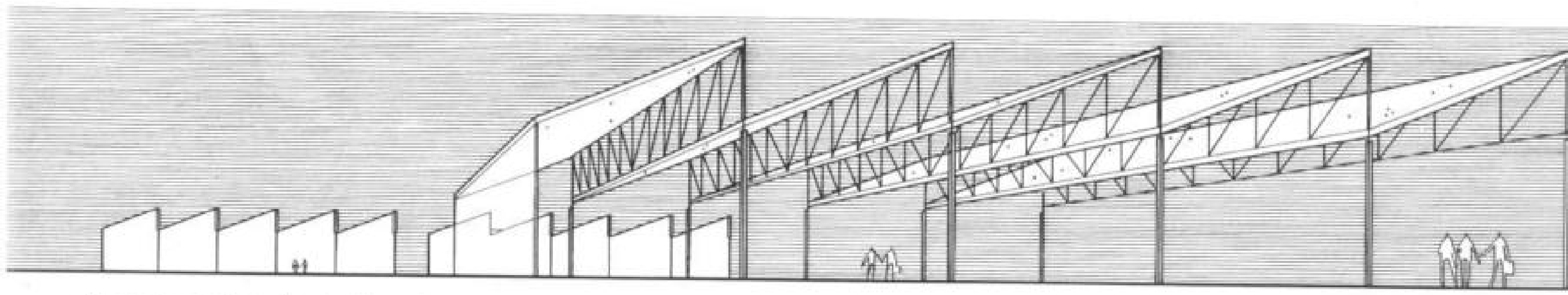
Influencia de las condiciones de apoyo en la forma estructural

## Derivação das formas básicas de treliças simples bidimensionais

Influência das condições de apoio na forma da estrutura

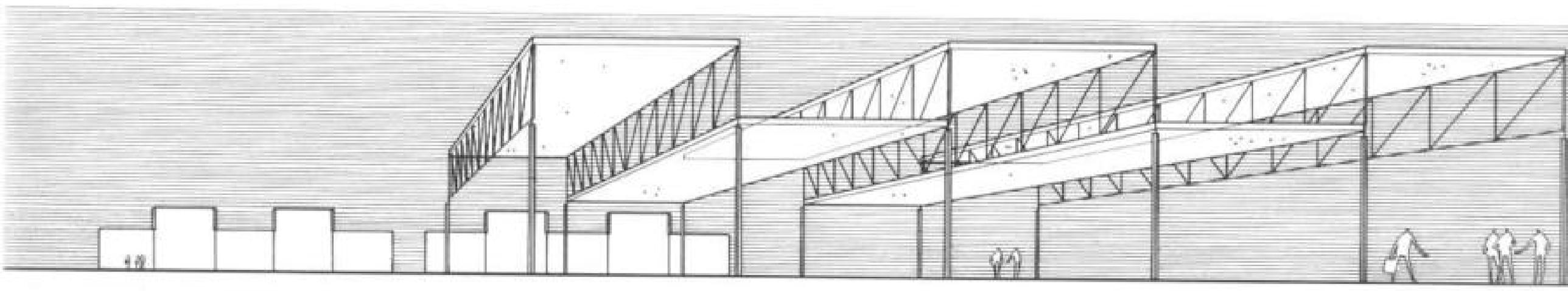


## Posibilidades formales mediante diferenciación de planos de cubierta en cerchas continuas
## Possibilidades de projeto através da diferenciação de tetos planos nas treliças continuas



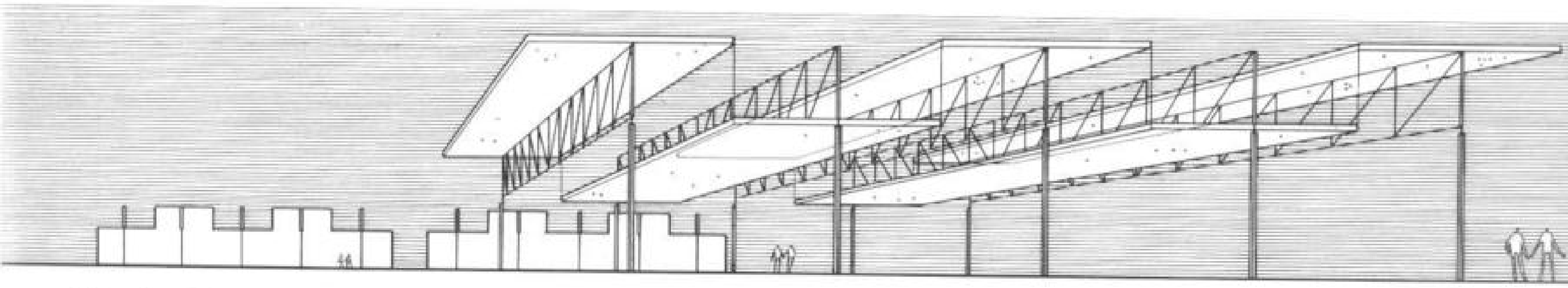
Planos de cubierta inclinados biapoyados

Tetos planos inclinados apoiados nas duas extremidades



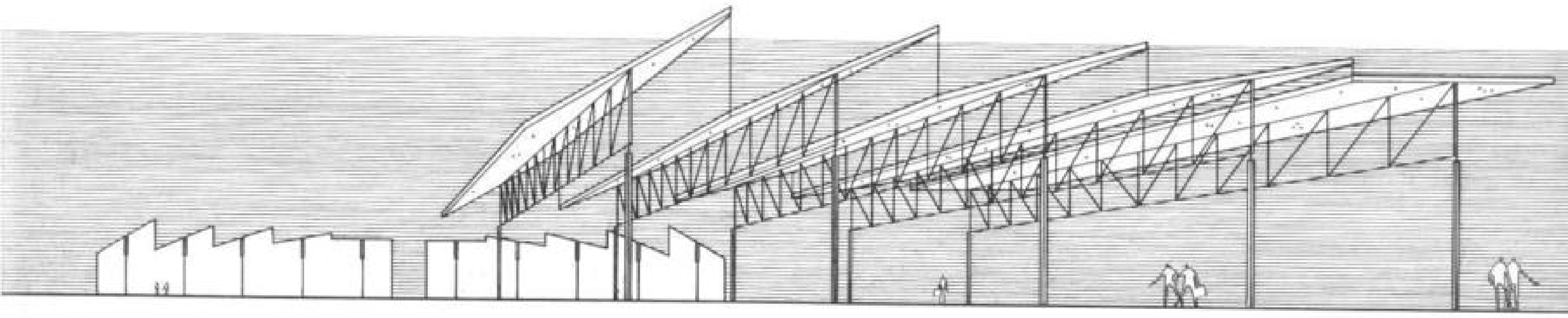
Planos de cubierta planos biapoyados

Tetos planos horizontais alternados apoiados nas duas extremidades



Planos de cubierta con apoyo central

Tetos planos horizontais apoiados no centro

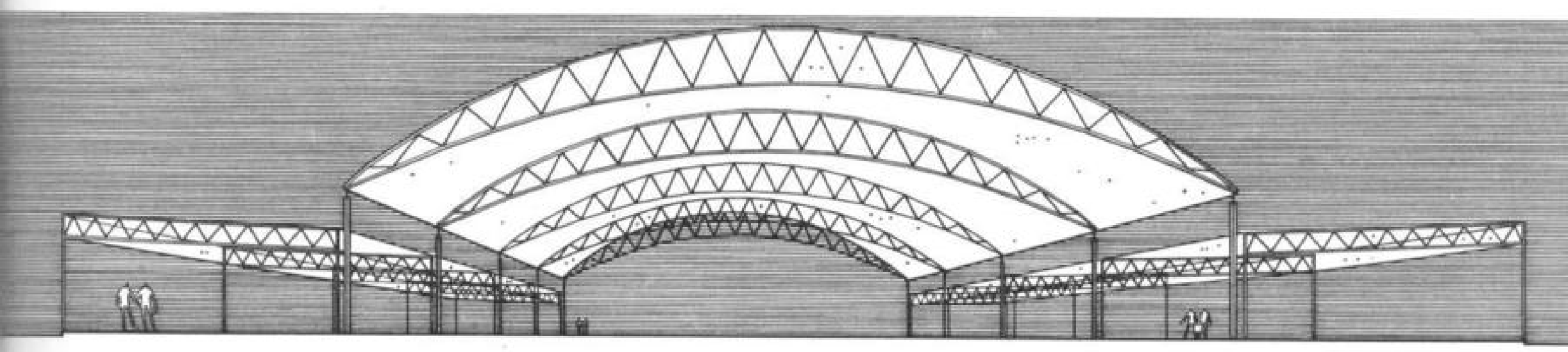


Planos de cubierta con inclinación variable y apoyo central

Tetos planos com inclinações diferentes apoiados no centro

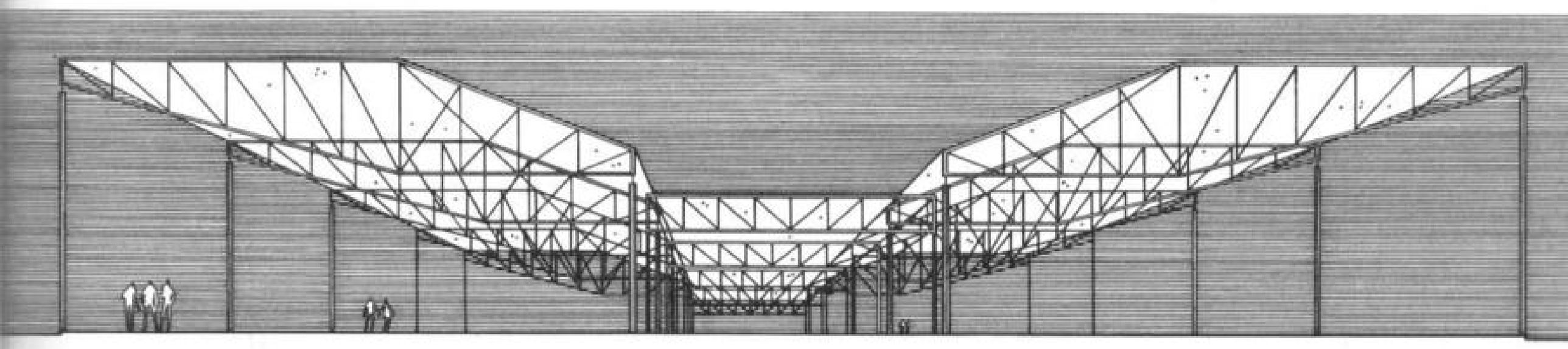
Composición de cerchas de grandes y pequeñas luces

Composição de treliças de grande e pequeno vão



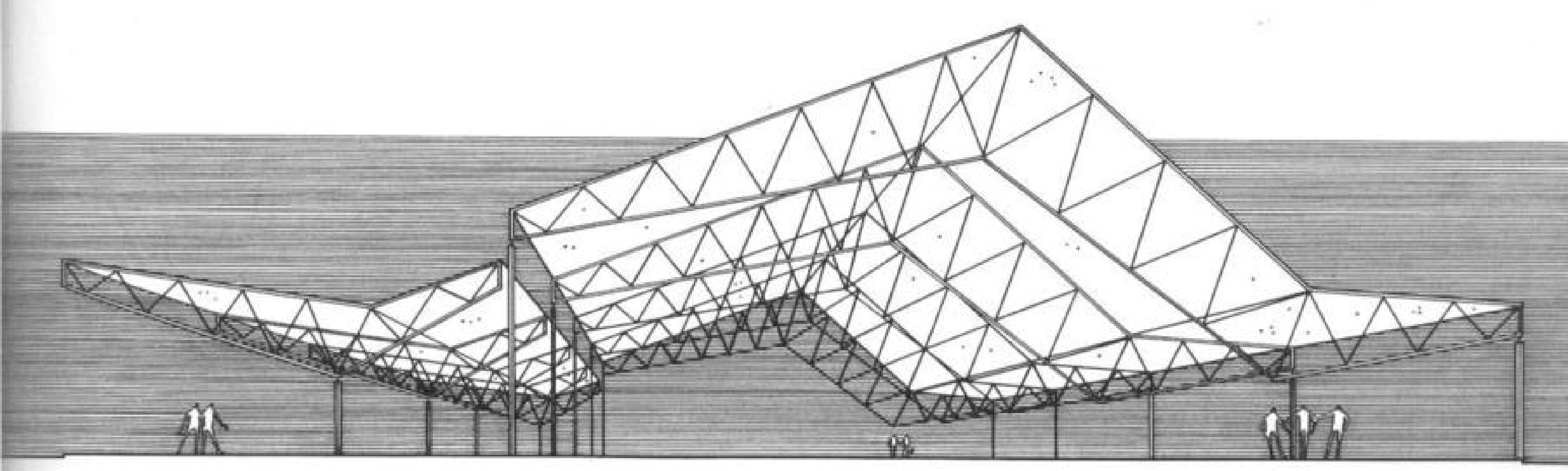
Composición simétrica con cercha central de gran luz

Composição simétrica com treliças de grande vão central



Composición simétrica con cerchas laterales de gran luz

Composição simétrica com treliças de grandes vãos laterais

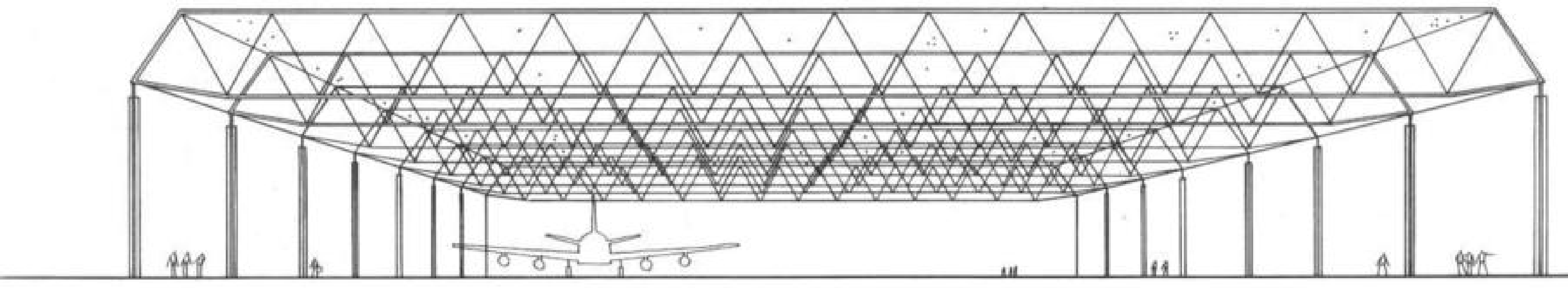


Composición de cerchas de grandes y pequeñas luces

Composição assimétrica com treliças de grande e pequeno vão

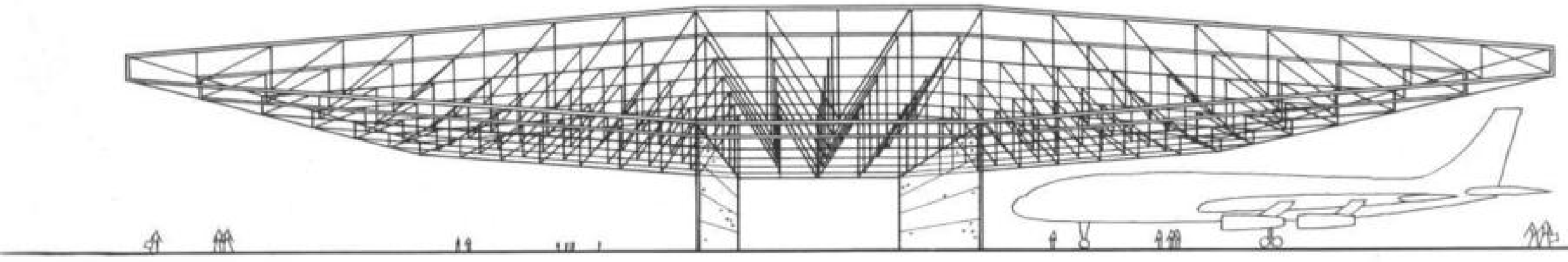
Cerchas de grandes luces con condiciones de apoyo diferenciadas

Treliças de grandes vãos com diferentes condições de apoio



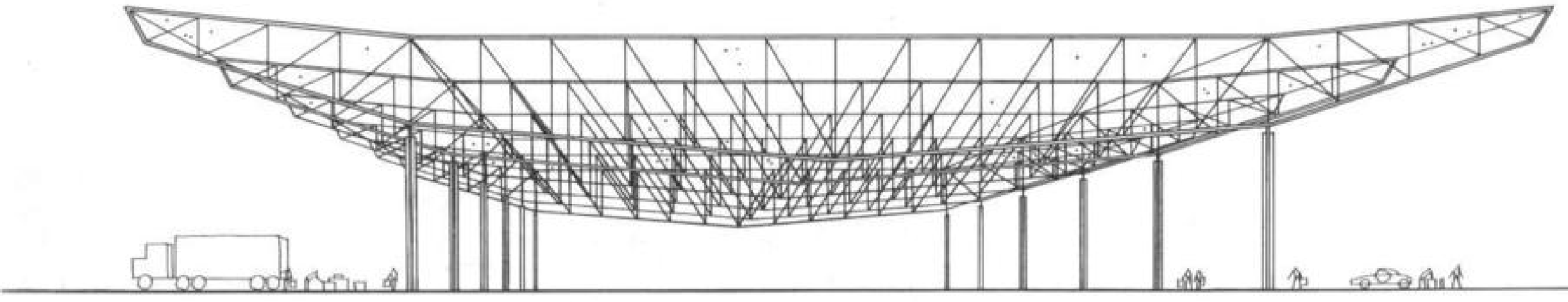
Cercha biapoyada en los extremos / estructura isostática

Treliças apoiadas nas duas extremidades: estrutura de vão livre



Cercha con doble pilar central / estructura hiperestática empotrada

Treliças com apoio duplo no centro: estrutura em balanço

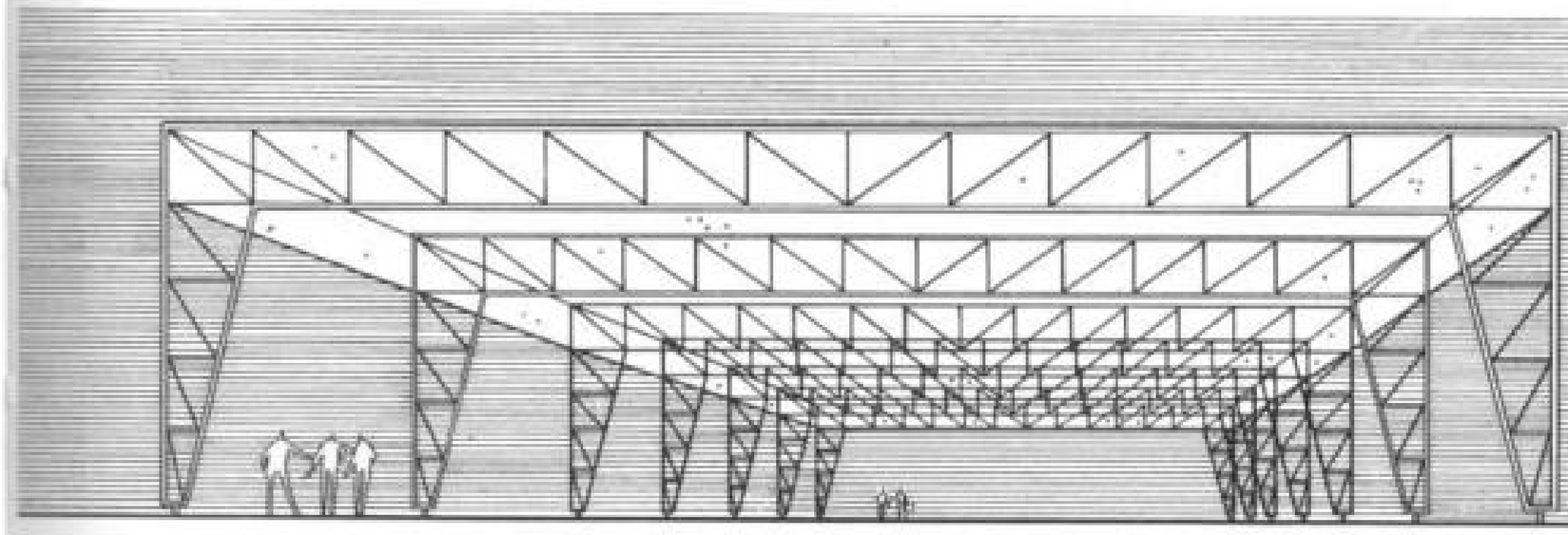


Cercha con laterales en voladizo / estructura isostática con voladizos

Treliças com extremidades em balanço: estrutura com vão livre em balanço

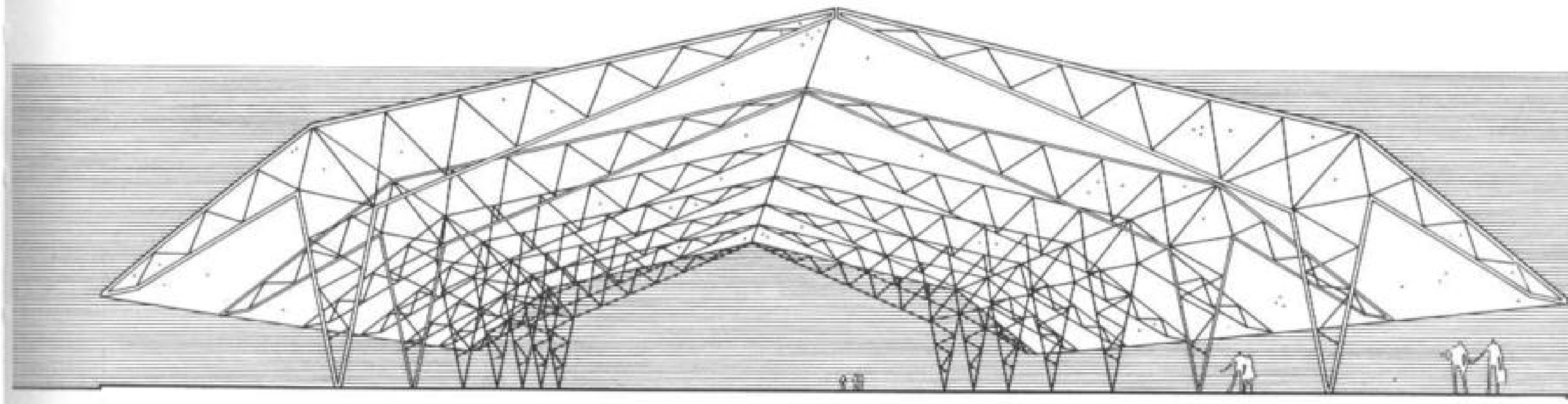
## Aplicación del mecanismo de cercha para otros sistemas estructurales

## Aplicação do mecanismo de treliça para outros sistemas estruturais



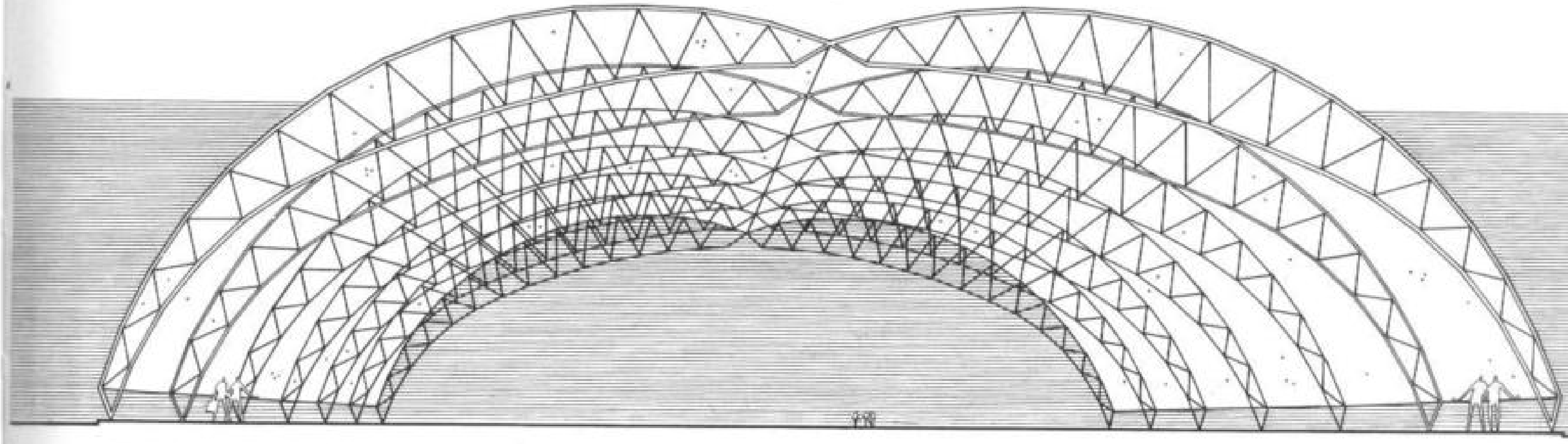
Pórtico de cerchas biarticulado

Pórtico de treliça biarticulado



Pórtico de cerchas triarticulado con voladizo

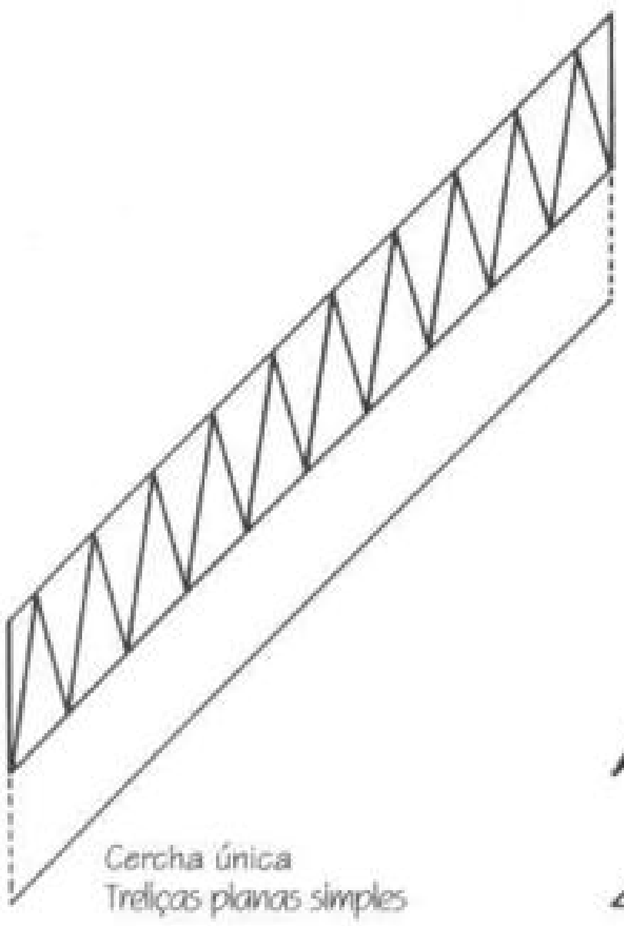
Pórtico de treliça triarticulado com balanços



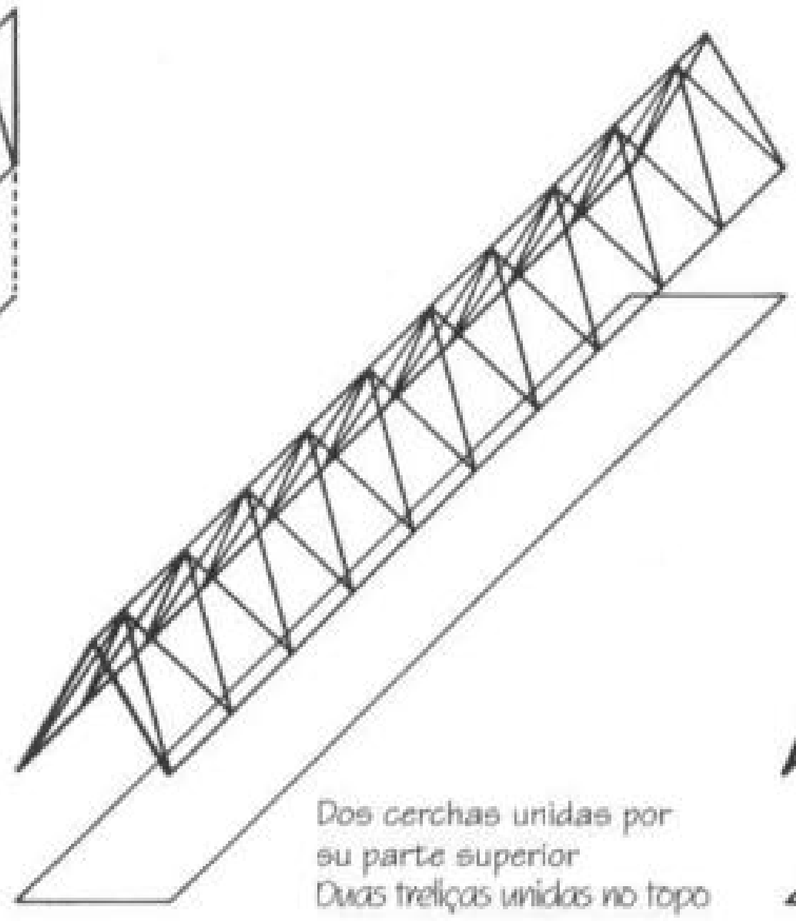
Cercha de celosía triarticulada

Arco de treliça triarticulado

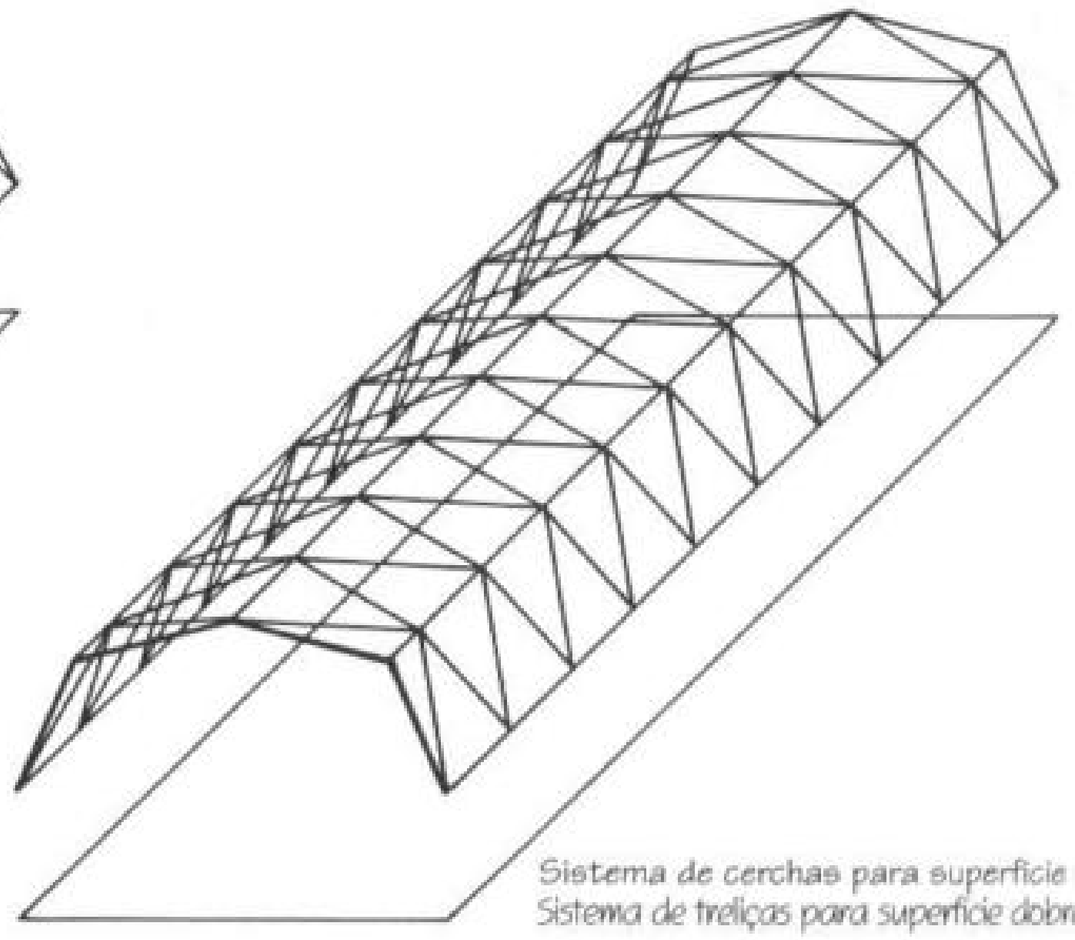
Combinación de cerchas bidimensionales para la creación de sistemas de cerchas en planos plegados o curvados
Combinação de treliças planas para formar sistemas de treliças de áreas curvas ou dobradas



Cercha única
Treliças planas simples

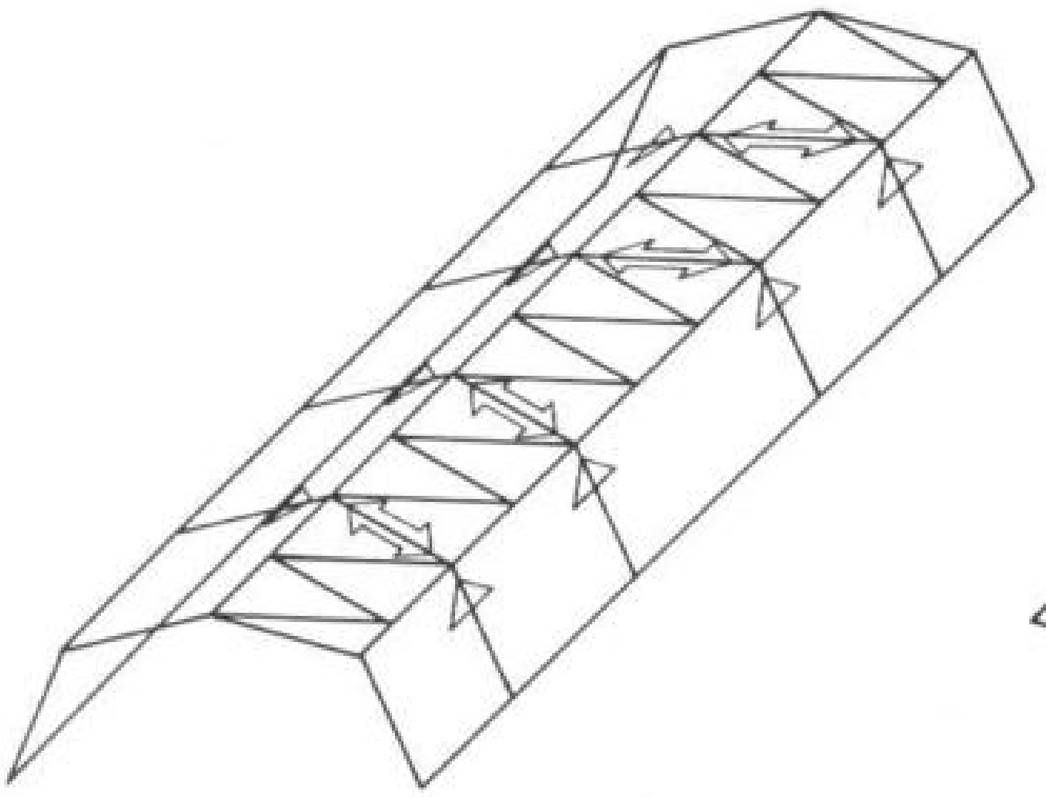


Dos cerchas unidas por su parte superior
Duas treliças unidas no topo

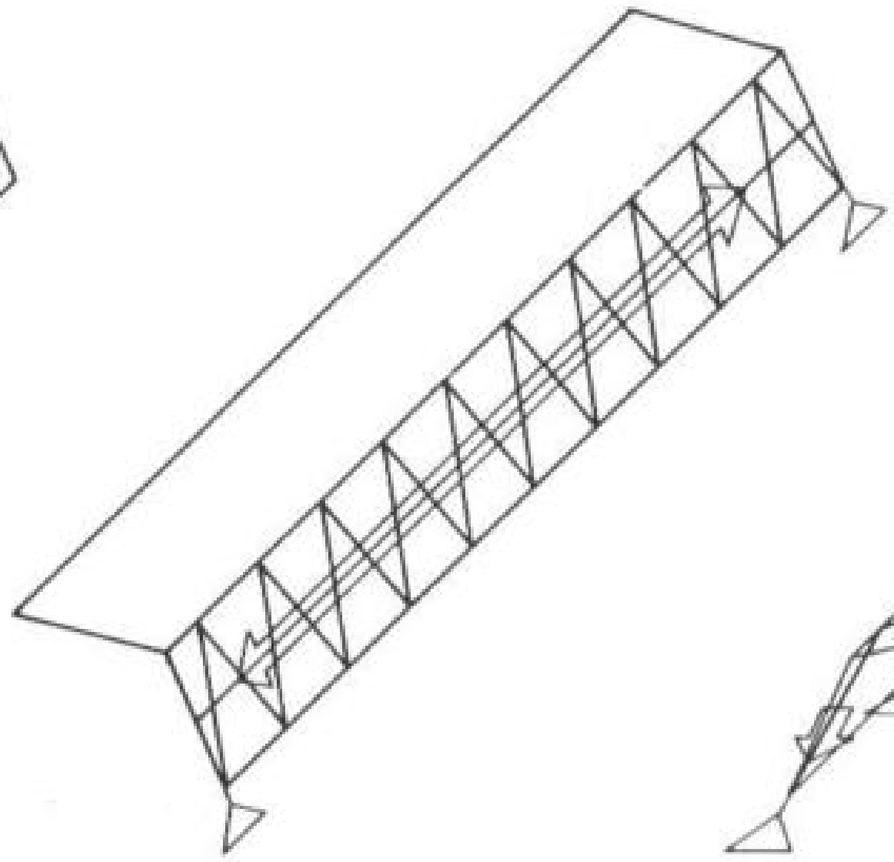


Sistema de cerchas para superficie
Sistema de treliças para superfície dobr

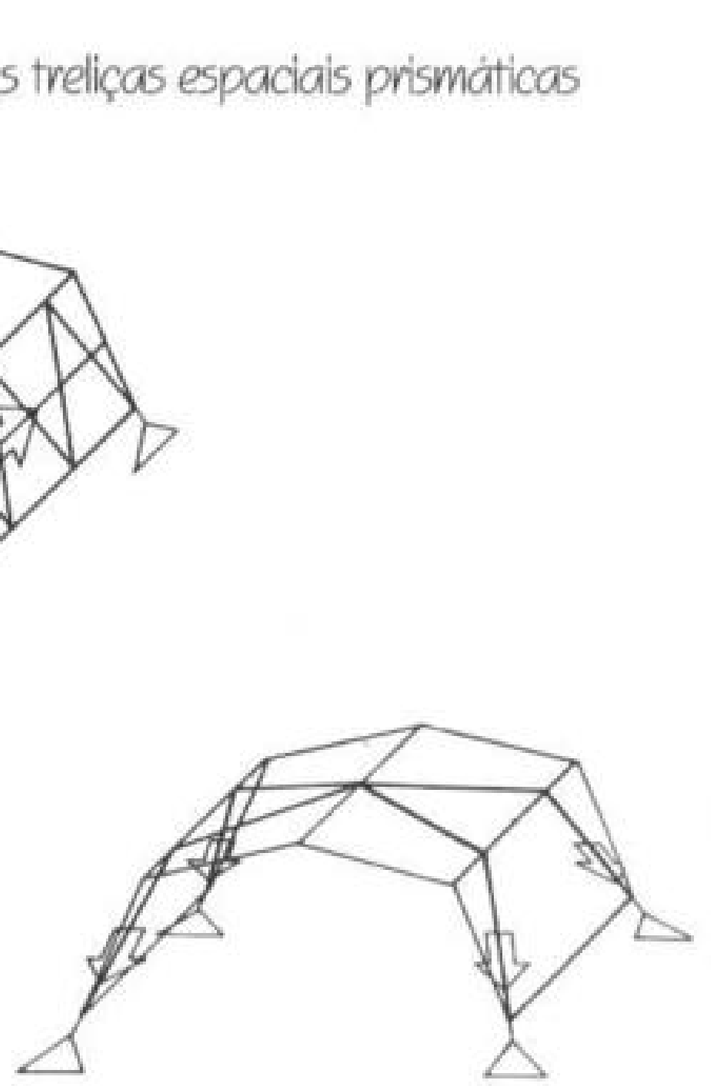
Sustentación triple de la cercha espacial prismática
Ação de suporte triplo das treliças espaciais prismáticas



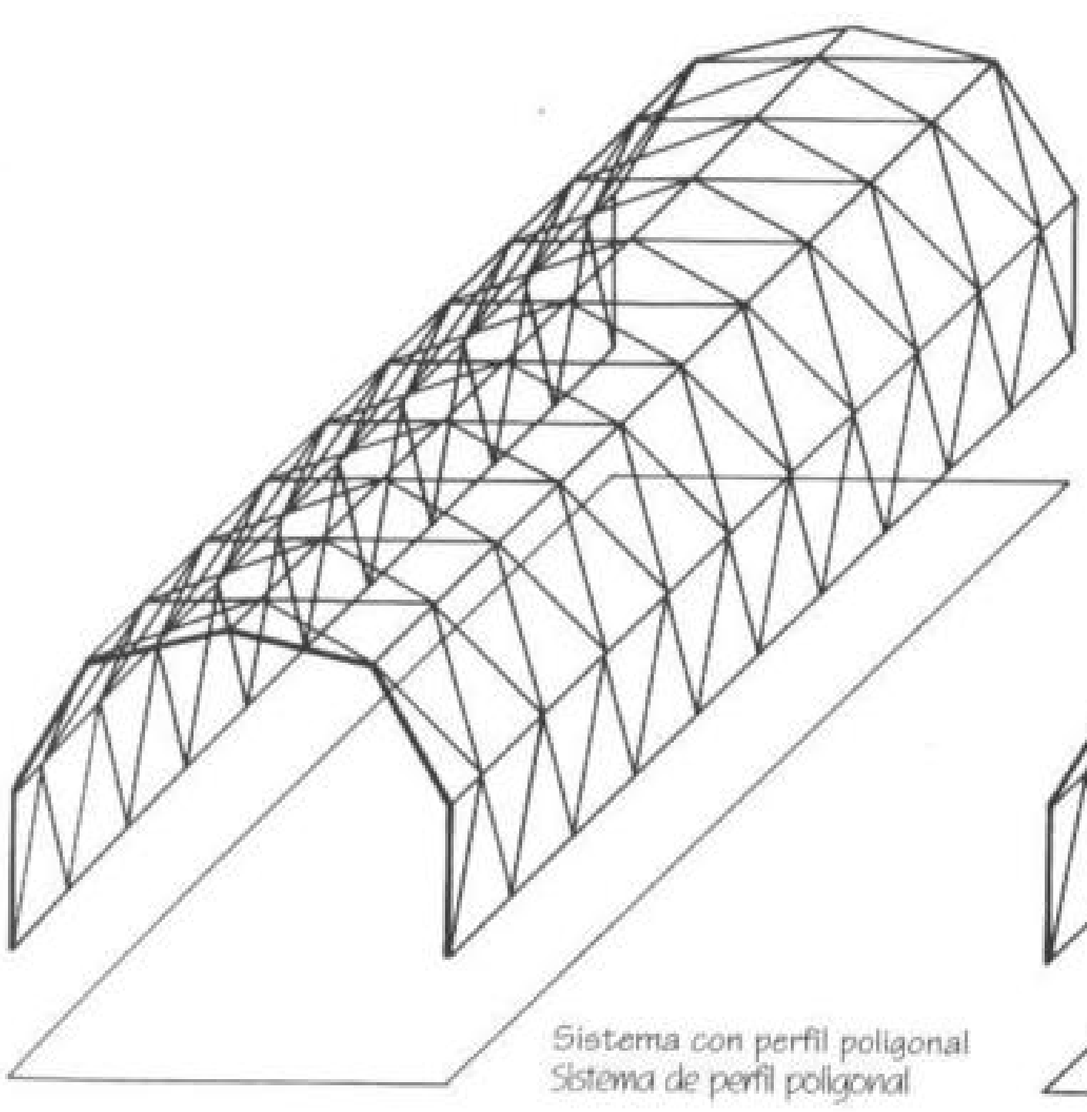
Sustentación transversal entre los cordones como vigas separadas
Ação de suporte transversal entre as cordas como vigas separadas



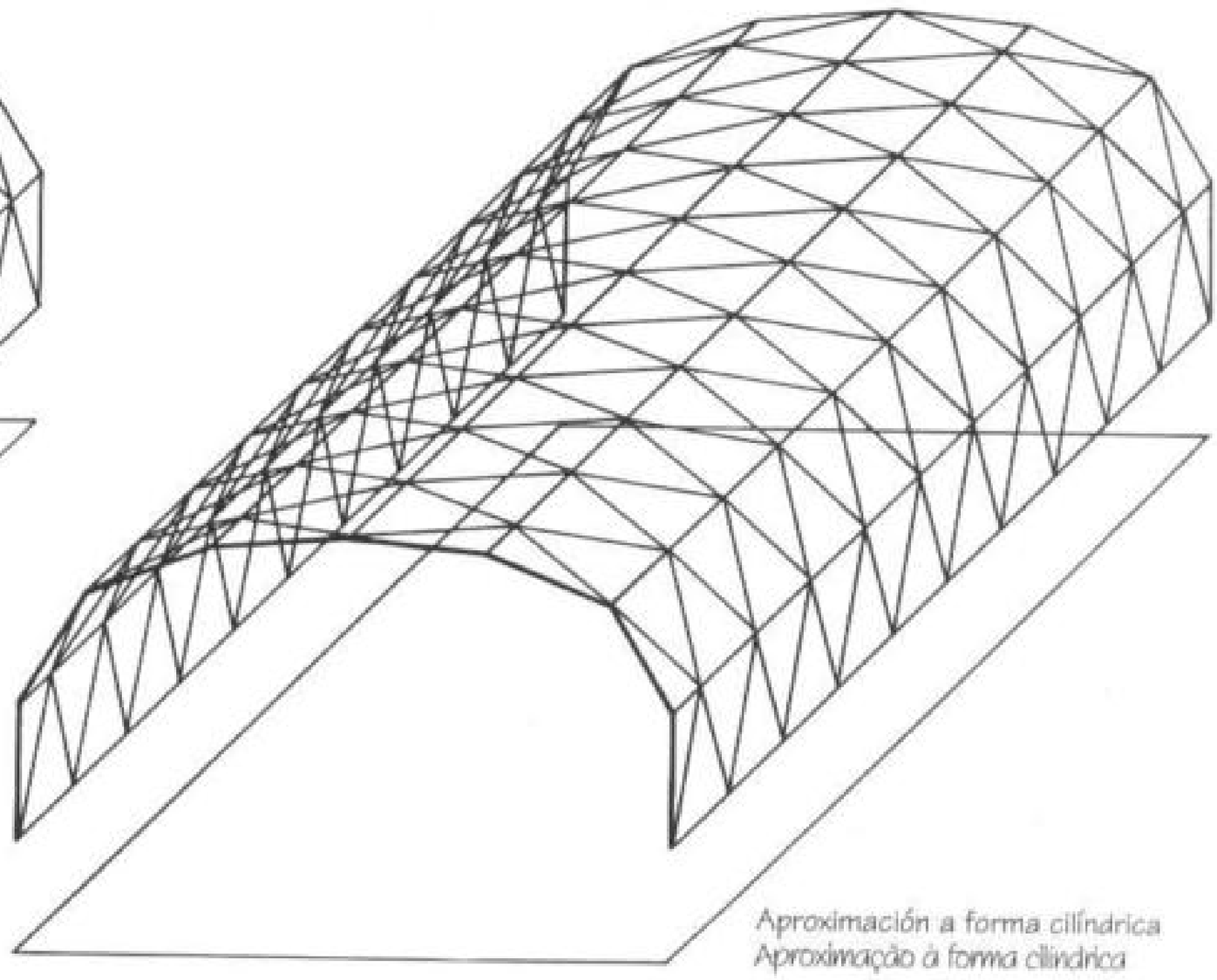
Sustentación logitudinal como cerchas separadas
Ação de suporte longitudinal como treliças separadas



Sustentación transversal como arcos diagonales
Ação de suporte transversal como arcos diagonais



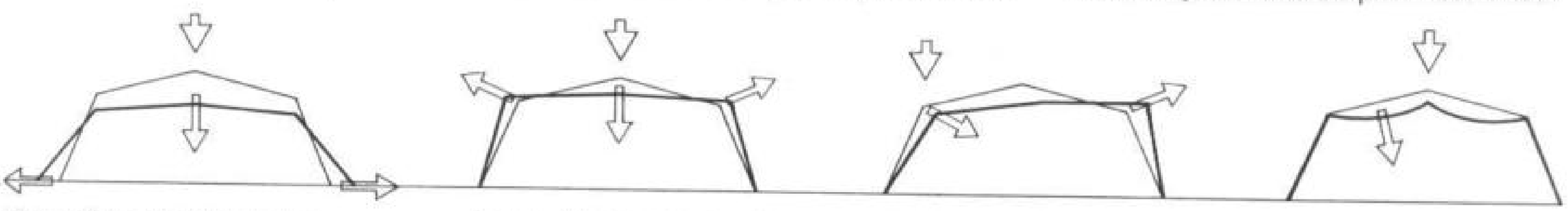
Sistema con perfil poligonal
Sistema de perfil poligonal



Aproximación a forma cilíndrica
Aproximação à forma cilíndrica

Deformación crítica del perfil transversal en la cercha espacial prismática

Deformação crítica do perfil transversal



Dislocación lateral de los apoyos
Deslocamento lateral dos pontos da base

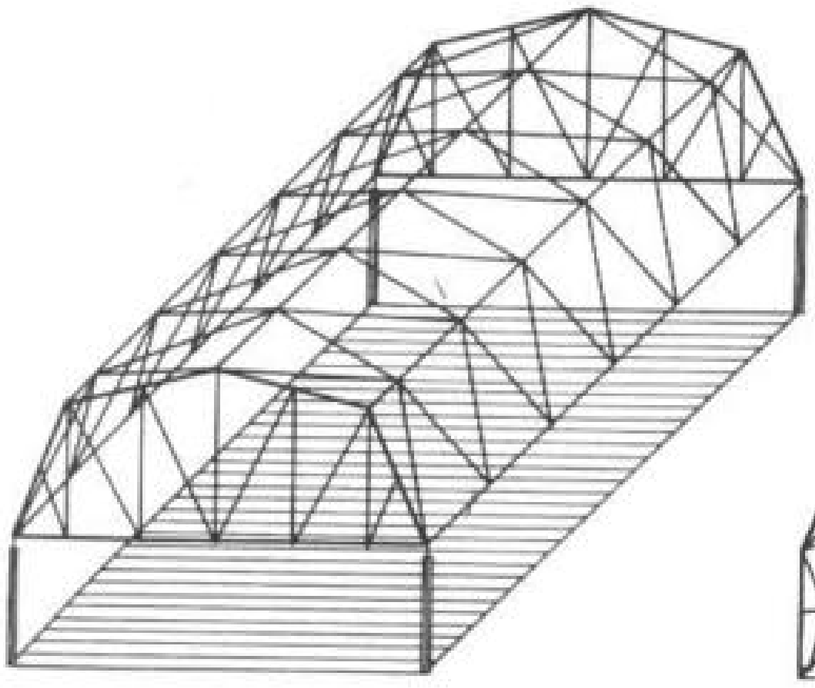
Bajada del vértice (cumbrera)
Rebaixamento do ponto da cumeeira

Cambio de los ángulos del perfil
Mudança dos ângulos do perfil

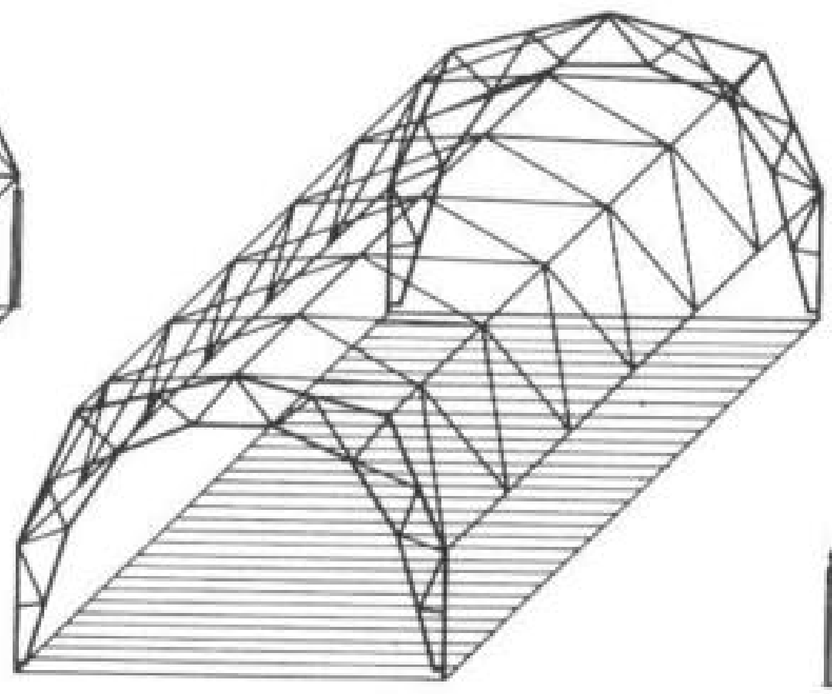
Flexión (pandeo) de los lados
Flexão (flambagem) dos lados

Formas típicas para arriostramientos transversales de cerchas

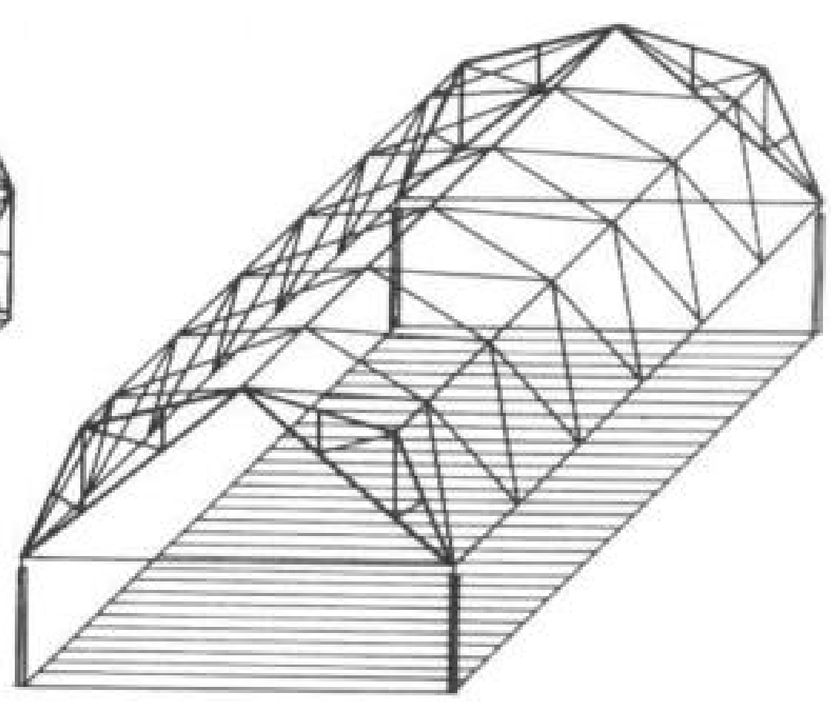
Formas típicas de enriiecedores transversais de treliça



Cercha como diafragma sobre pilares
Treliça em diafragma sobre pilares



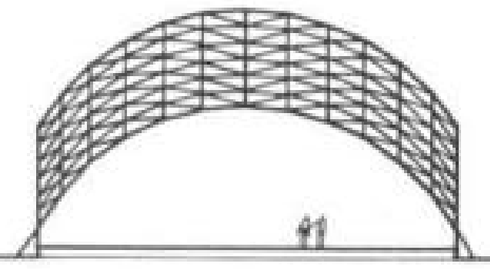
Arco de celosía biarticulado sobre cimientos
Pórtico de treliça com arco biarticulado sobre fundação

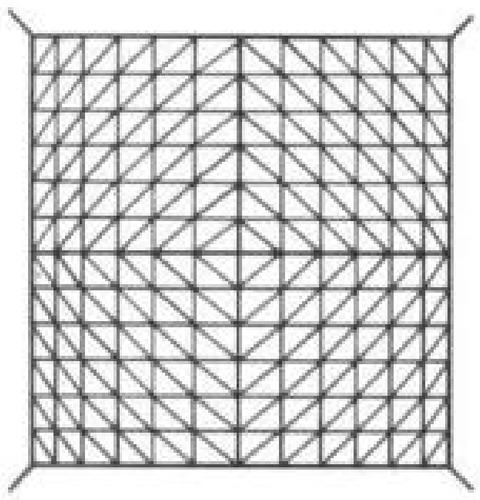


Pórtico de cerchas con tensor sobre pilares
Pórtico triarticulado de treliça com tirantes nos apoios

## Sistemas de cerchas para superficies de curvatura simple

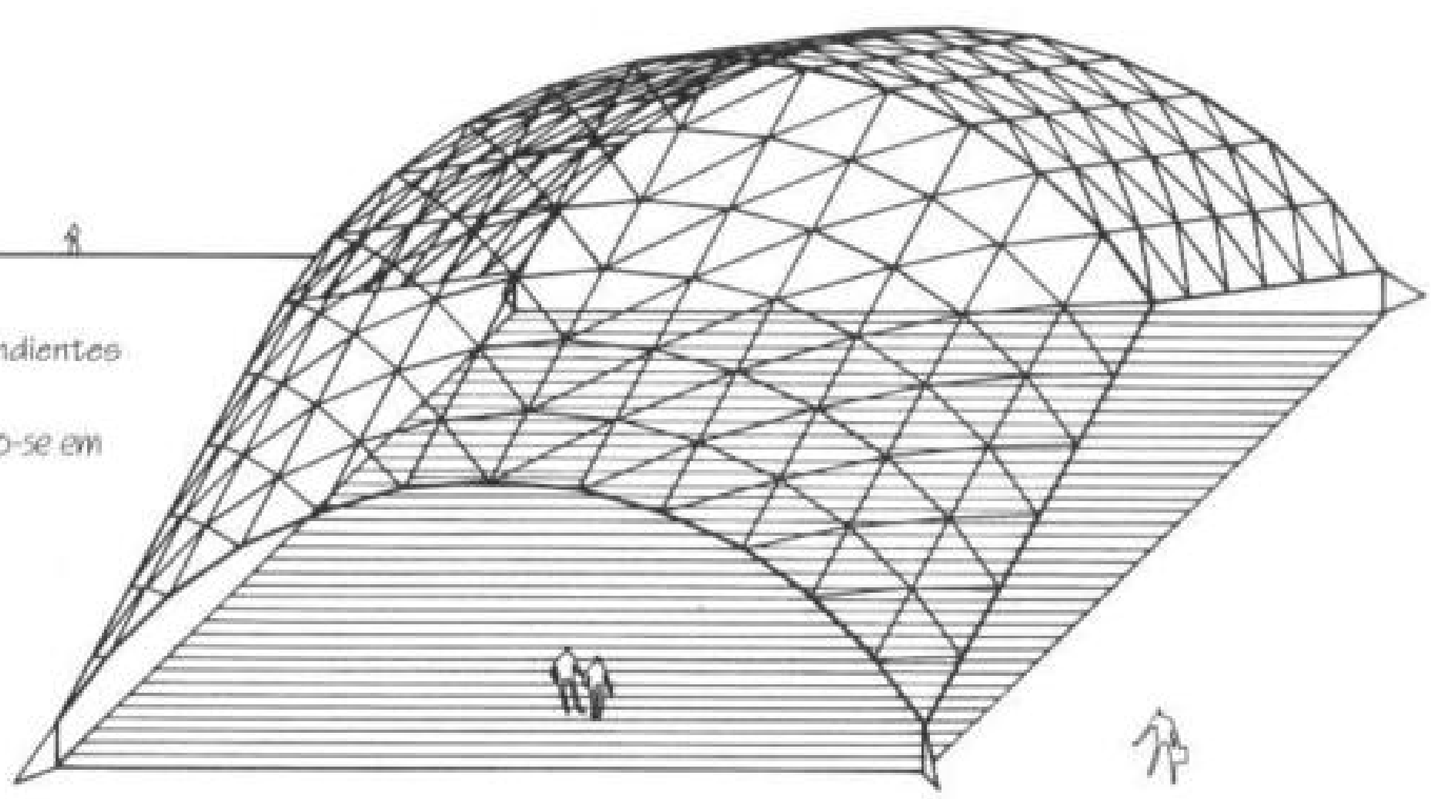
## Sistemas de treliças para áreas curvas simples

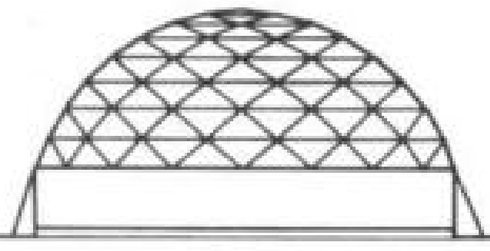


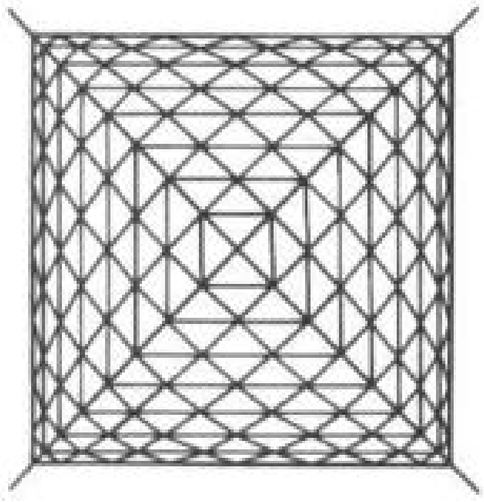


Dos superficies cilíndricas ascendientes hacia el centro

*Duas superficies cilíndricas elevando-se em direção ao centro*

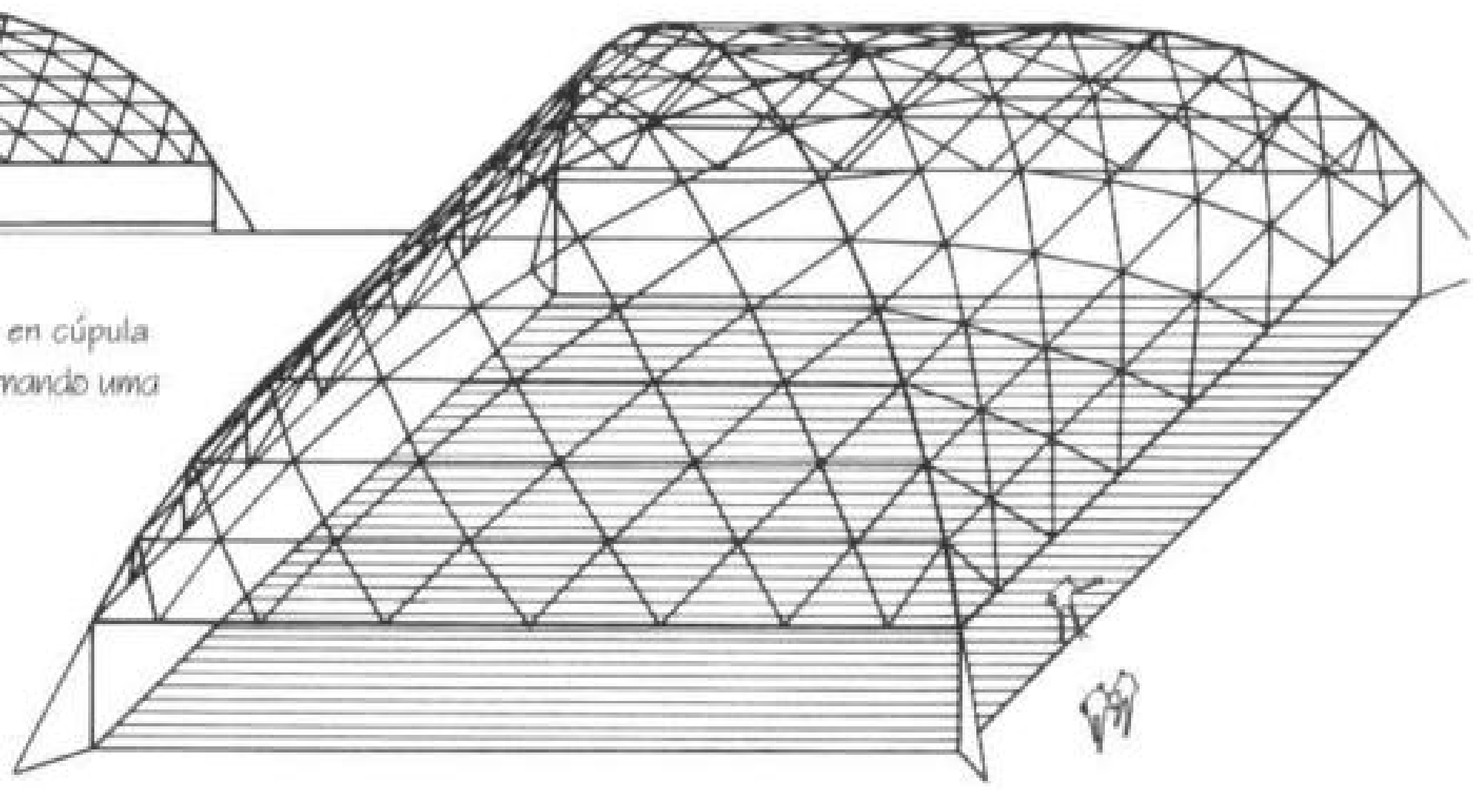


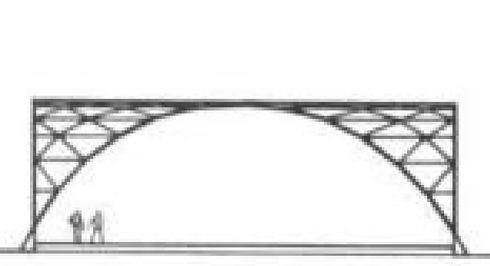


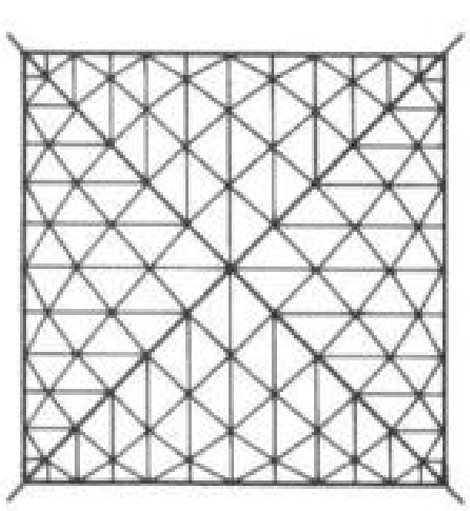


Cuatro superficies cilíndricas en cúpula

*Quatro superficies cilíndricas formando uma cúpula*

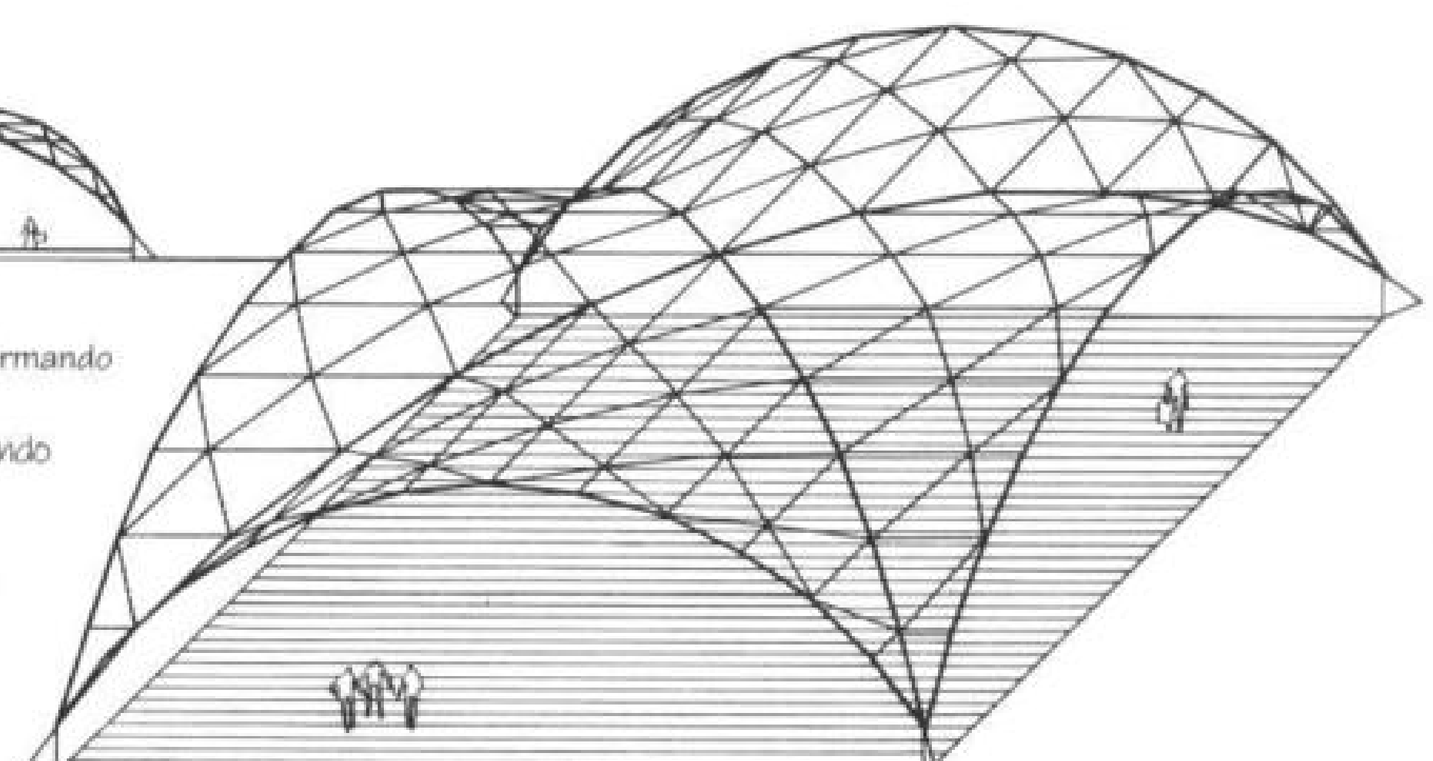






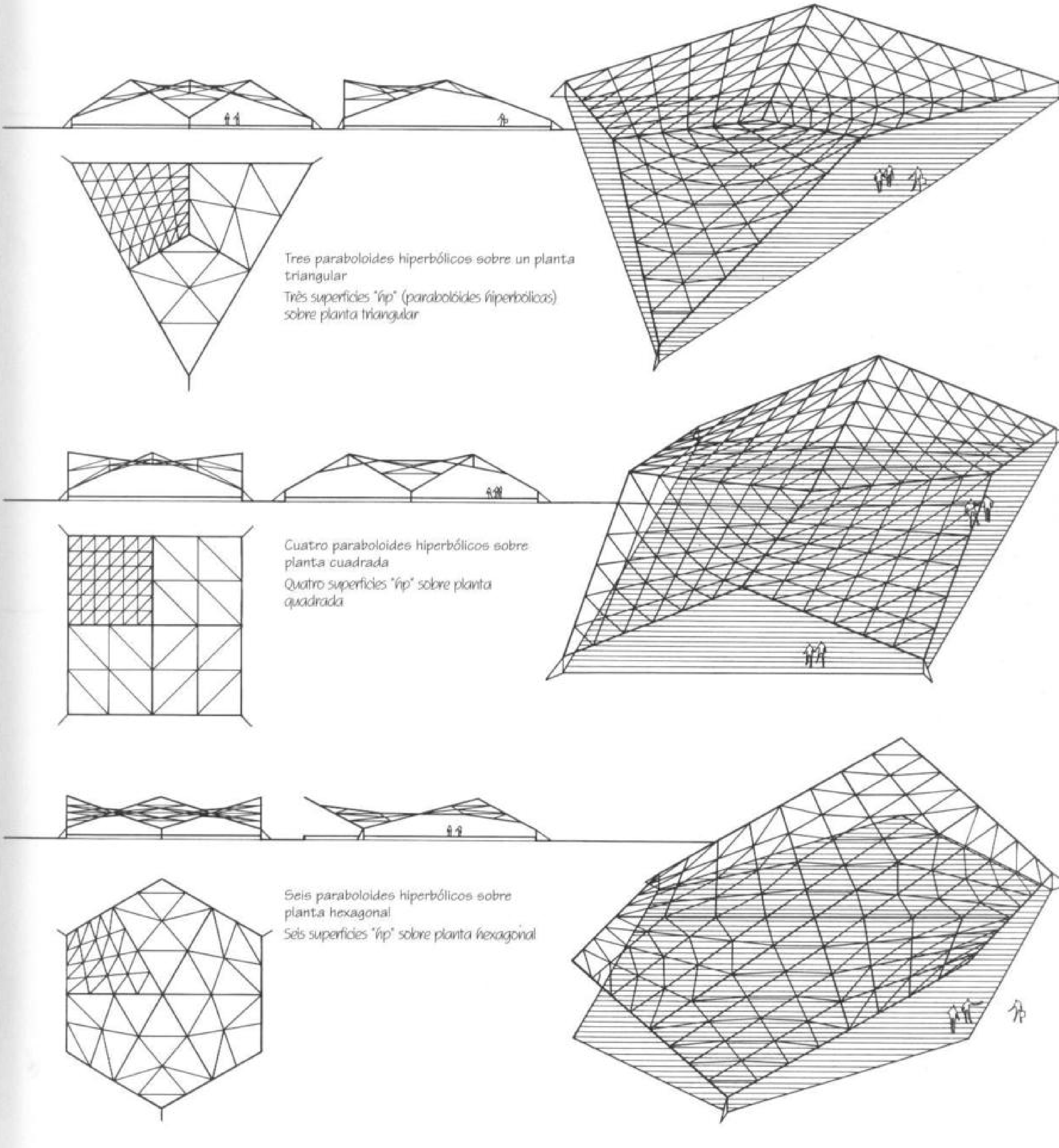
Cuatro superficies cilíndricas formando una "bóveda de crucero"

*Quatro superficies cilíndricas formando uma abóbada cruzada*



## Sistemas de cerchas para superficies de doble curvatura

## Sistemas de treliças para superficies de dupla curvatura



Tres paraboloides hiperbólicos sobre un planta triangular

Três superficies "hip" (paraboloides hiperbólicas) sobre planta triangular



Cuatro paraboloides hiperbólicos sobre planta cuadrada

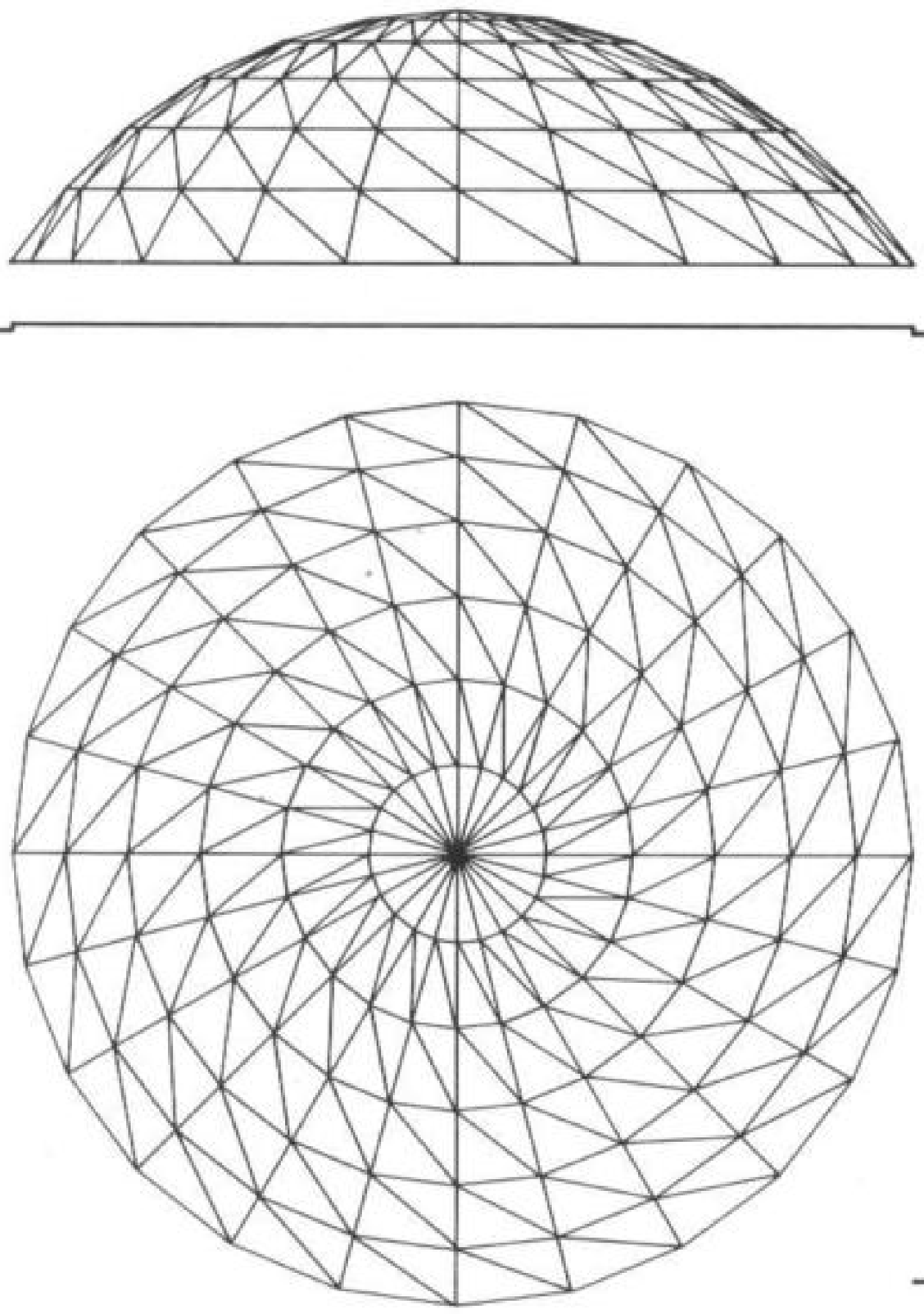
Quatro superficies "hip" sobre planta quadrada



Seis paraboloides hiperbólicos sobre planta hexagonal

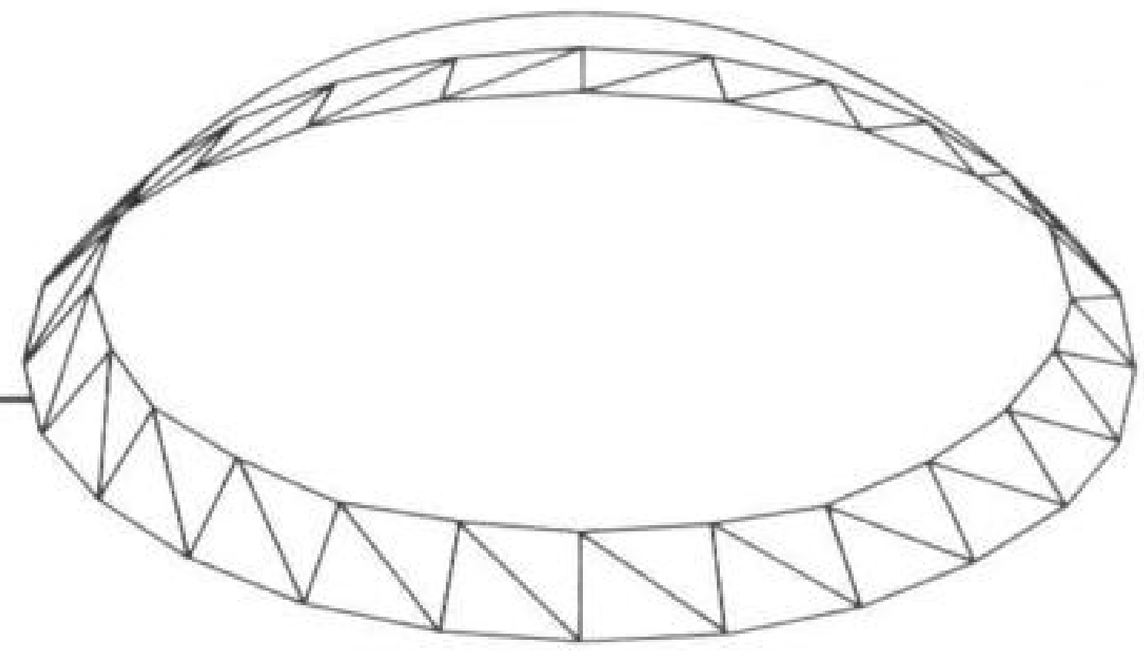
Seis superficies "hip" sobre planta hexagonal

Sistemas de cerchas para superficies esféricas

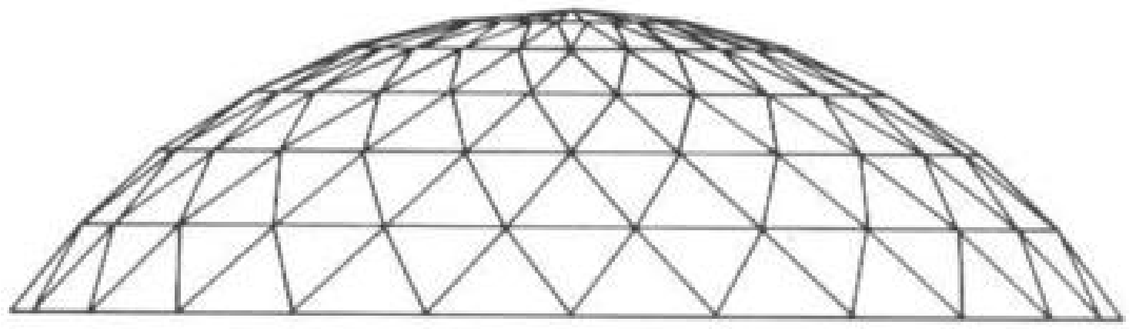


Anillos esféricos con diagonales hacia la izquierda
Anéis esféricos com entreliçamento diagonal à esquerda

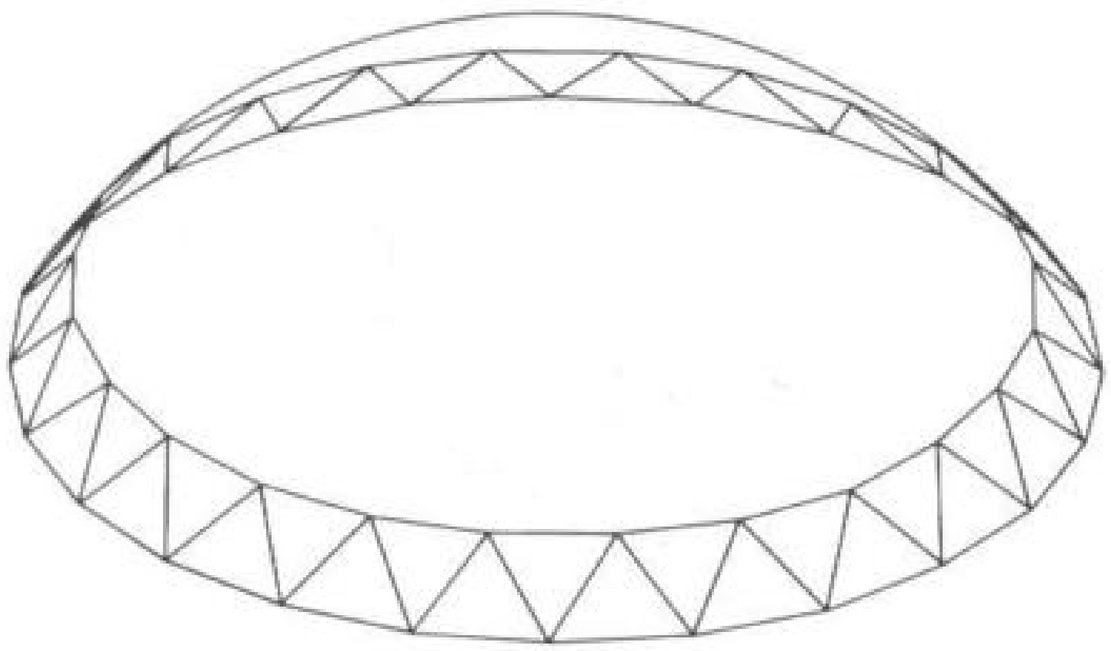
Sistemas de treliças para superficies esféricas



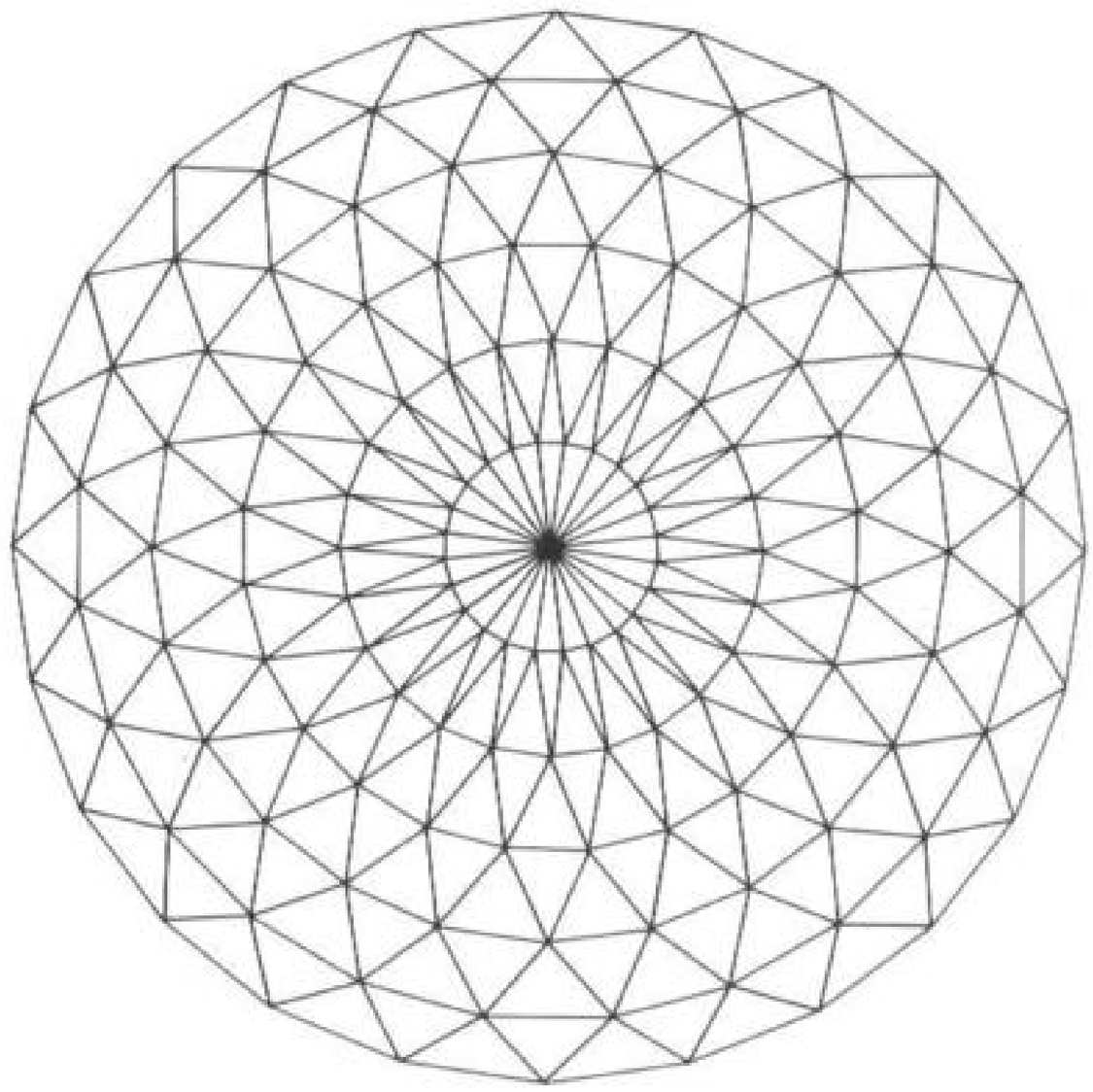
Cúpula de Schwedler
Cúpula "Schwedler"



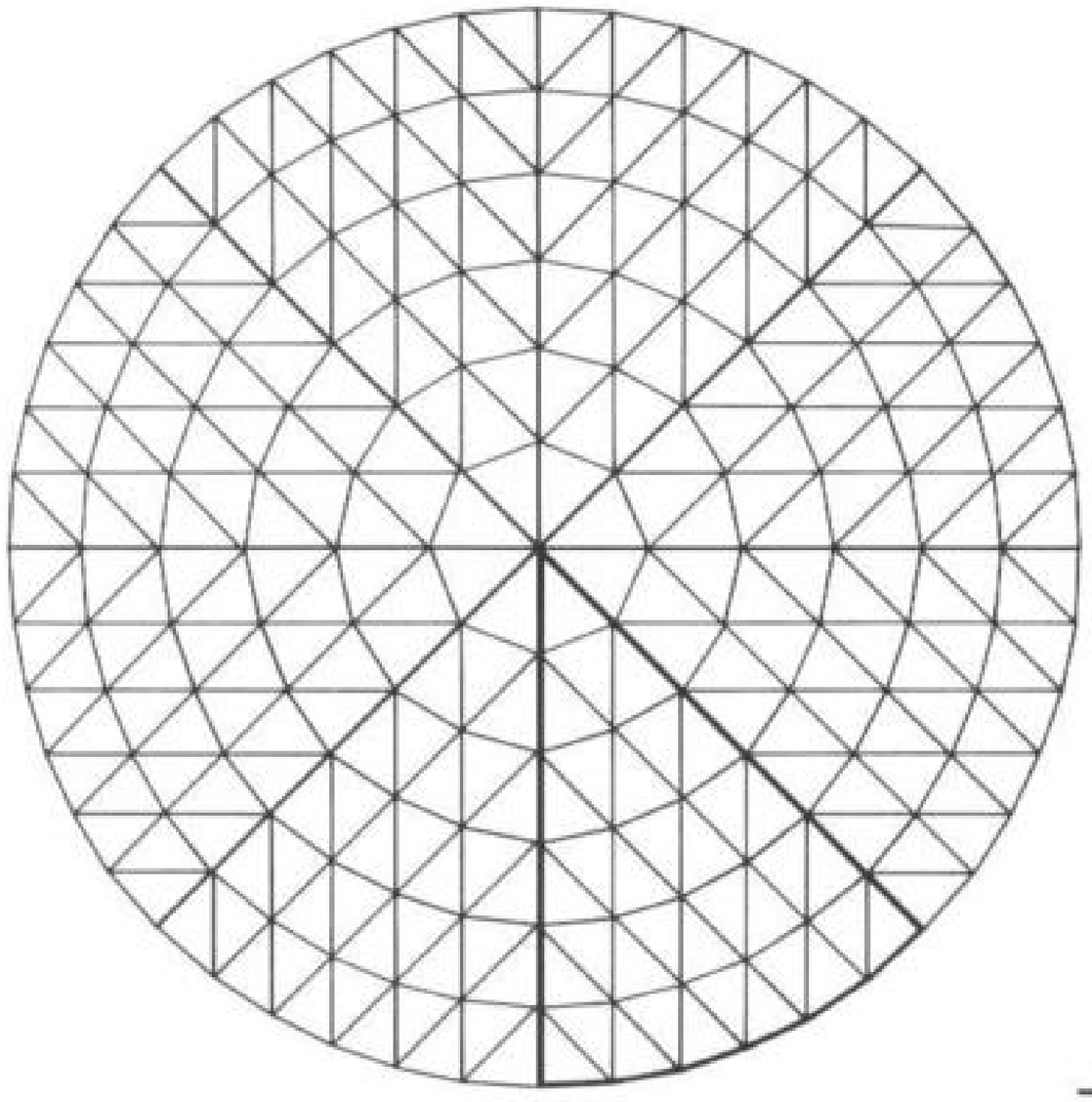
Anillos esféricos con diagonales bidireccionales
Anéis esféricos com entreliçamento diagonal bidirecional



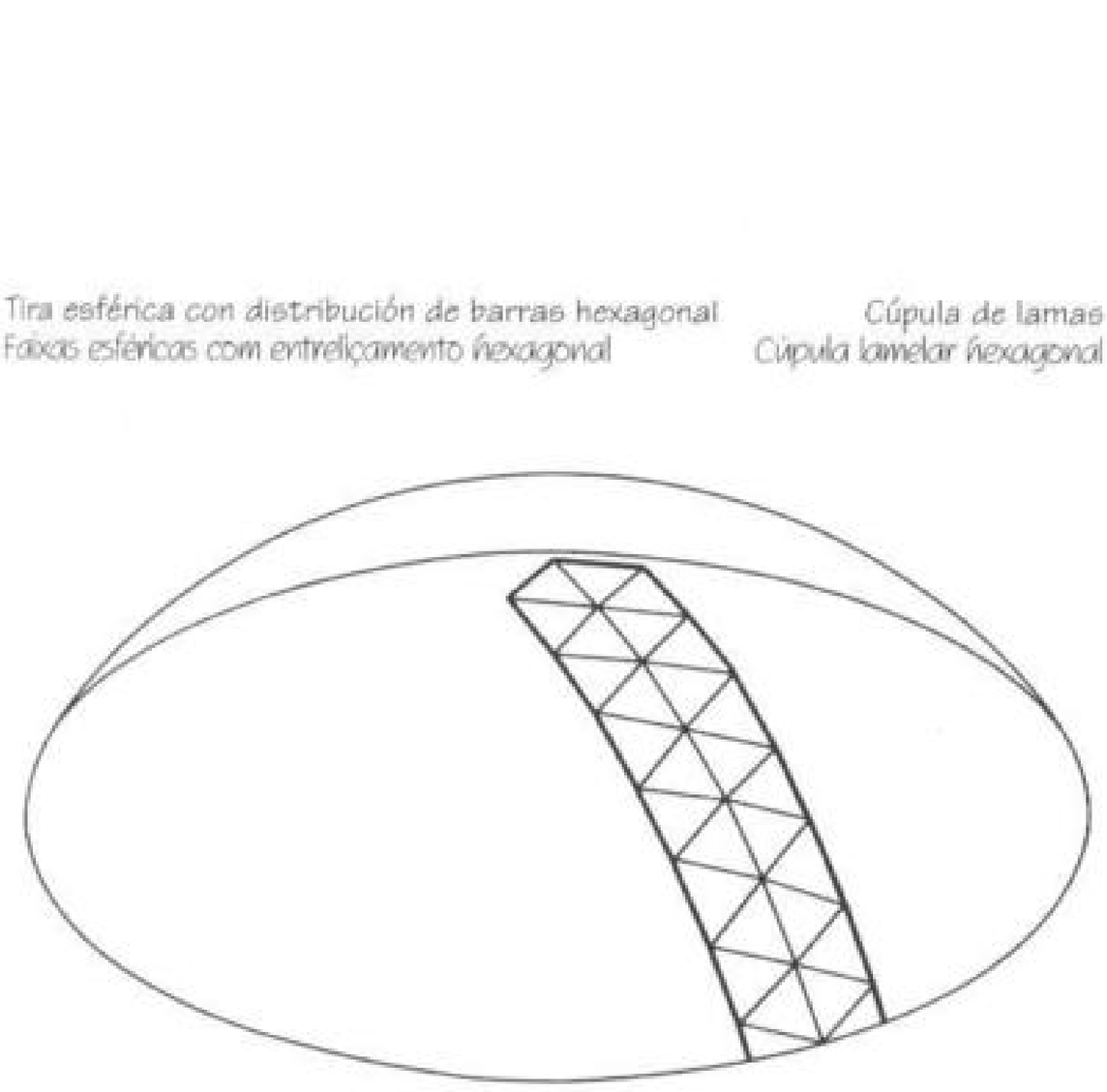
Cúpula en celosía
Cúpula em grade



## Sistemas de cerchas para superficies esféricas

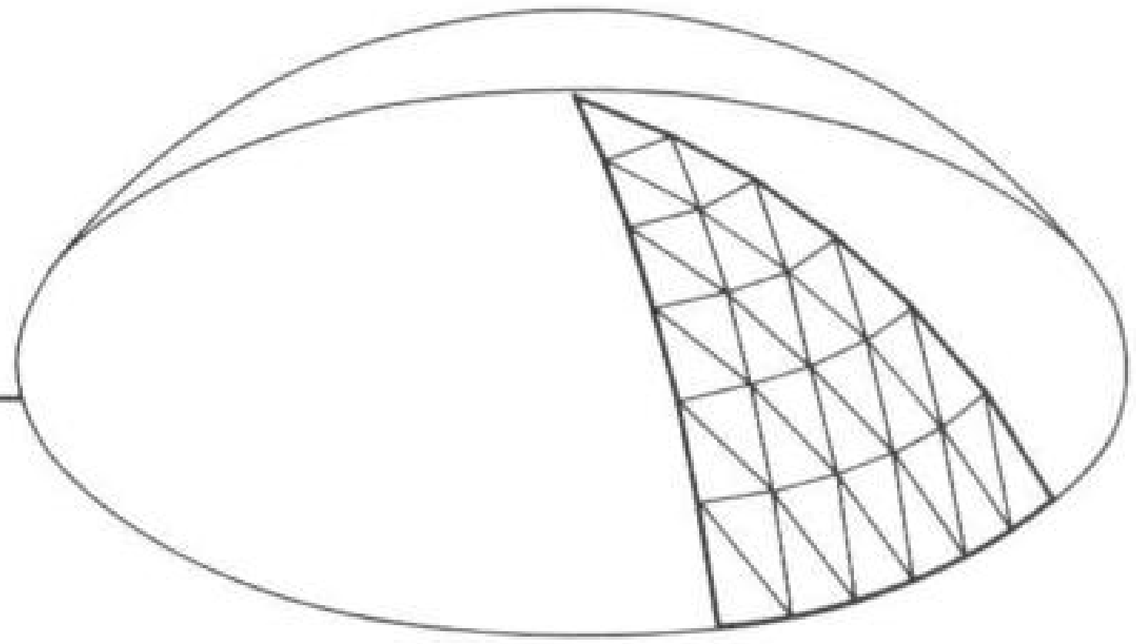


Segmentos esféricos con distribución de barras en paralelo
Segmentos esféricos com entreliçamento paralelo

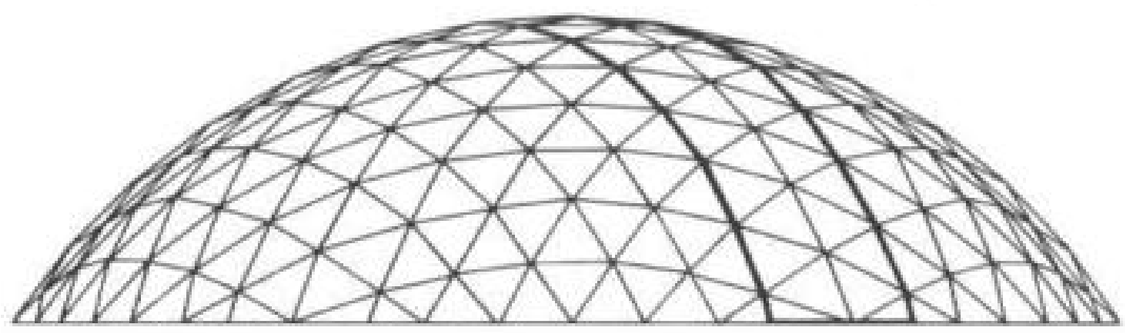


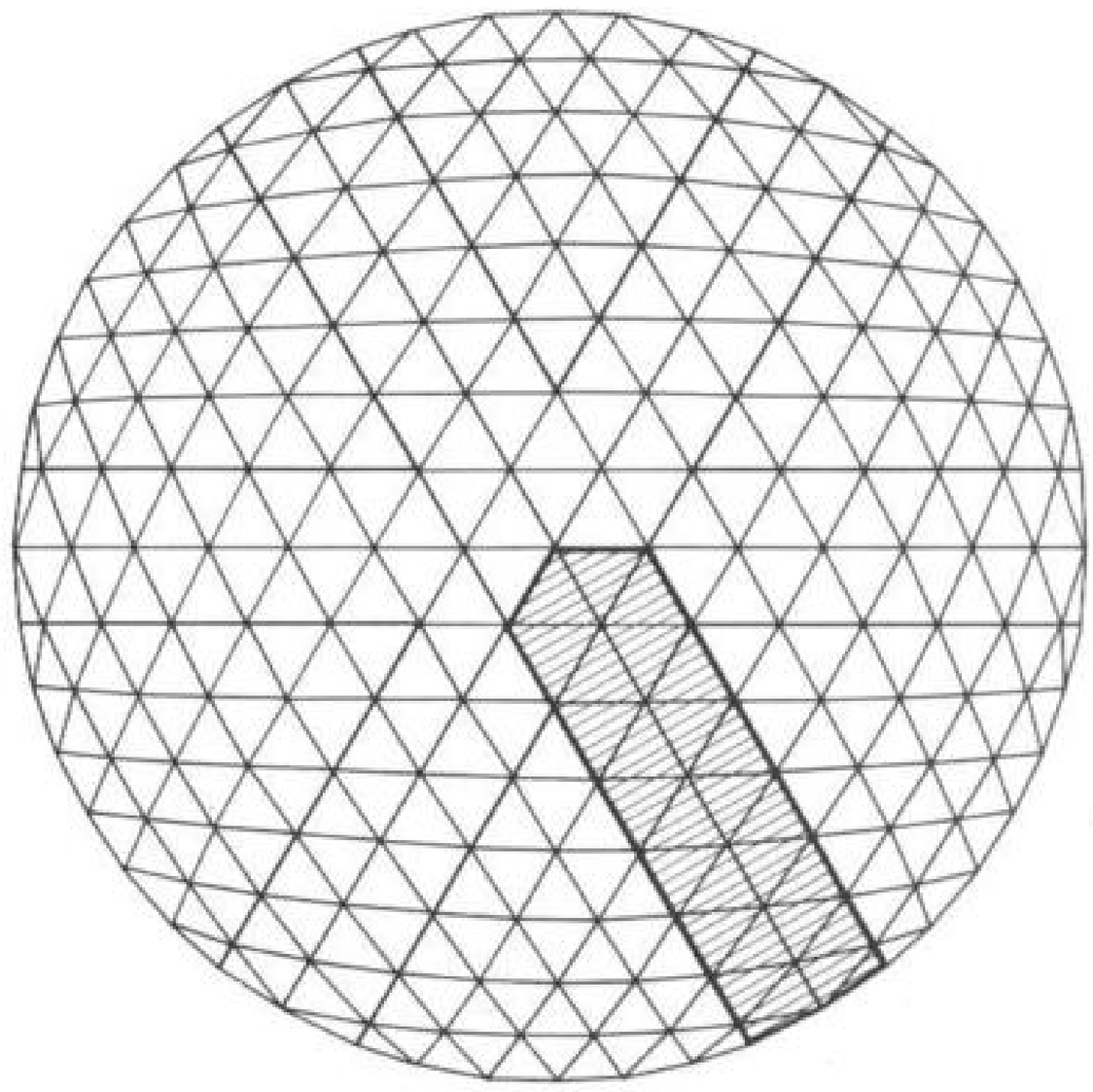
Tira esférica con distribución de barras hexagonal
Faixas esféricas com entreliçamento hexagonal

## Sistemas de treliças para superficies esféricas



Cúpula de malla paralela
Cúpula de grade paralela

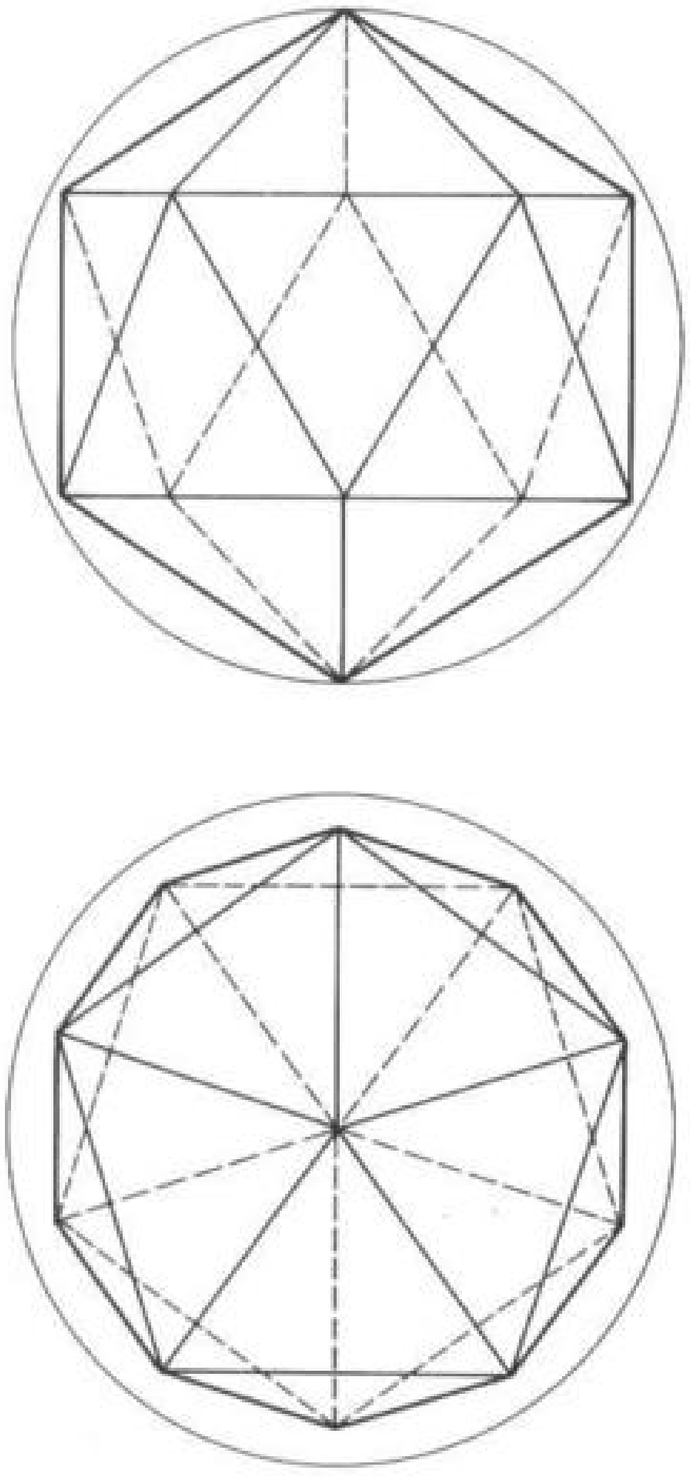




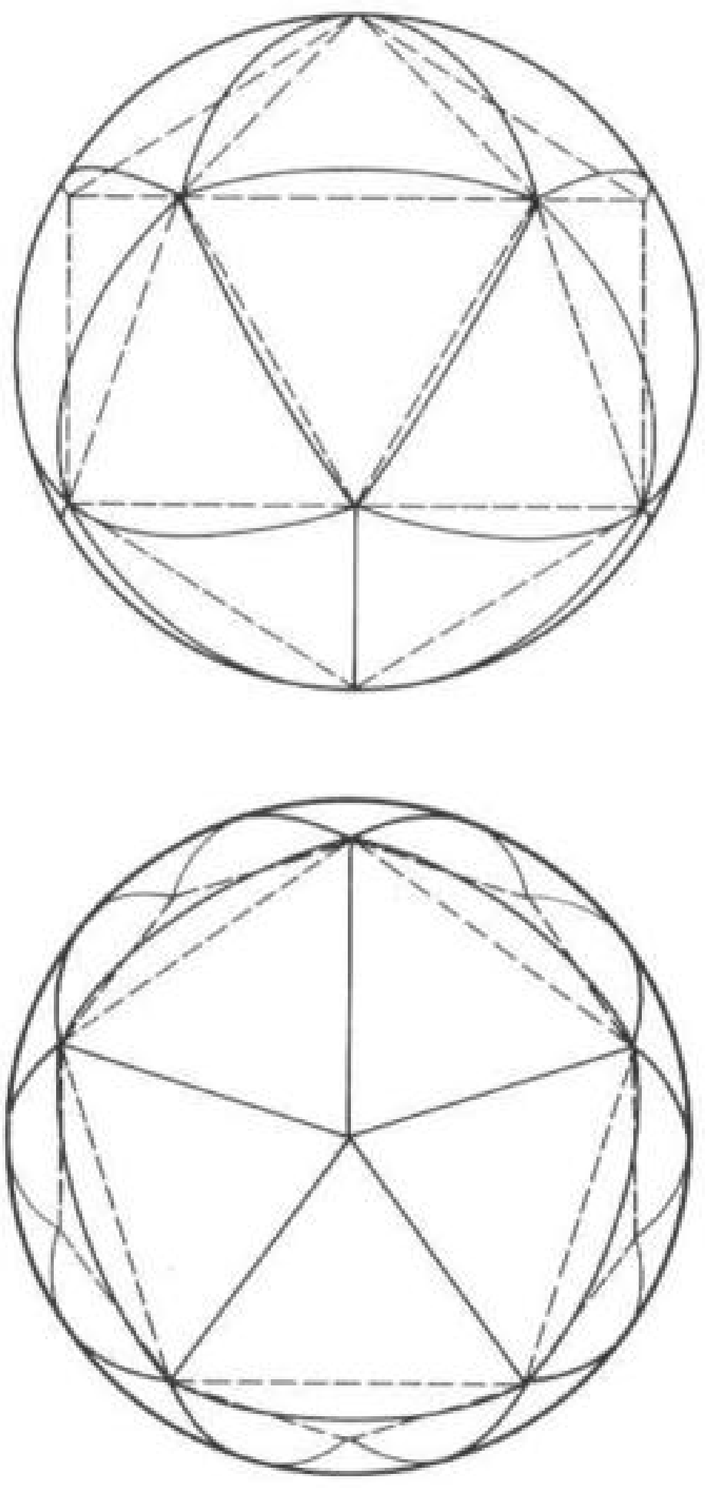
Cúpula de lamas
Cúpula lamelar hexagonal

## Derivación geométrica de la cúpula geodésica

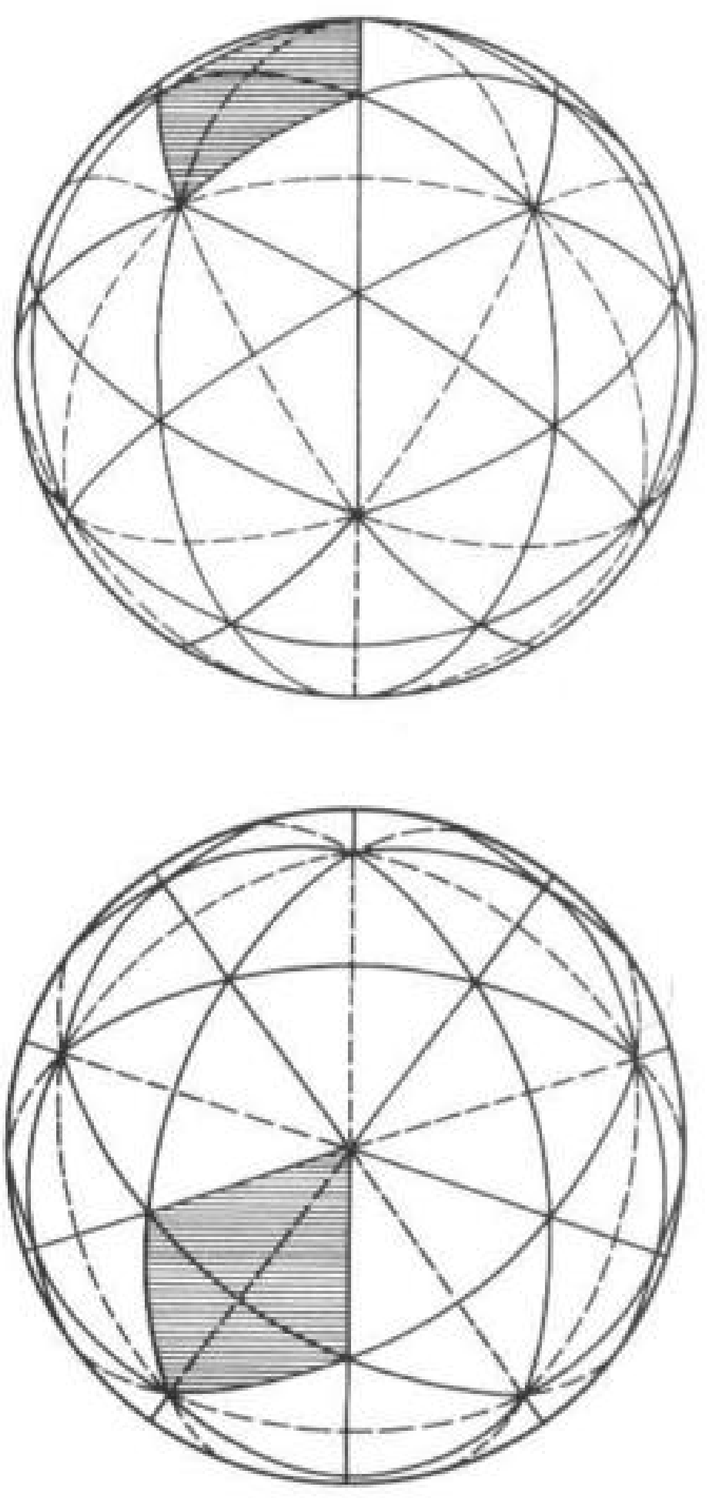
## Derivação geométrica de cúpula geodésica



icosaedro



icosaedro esférico



división angular en partes iguales

icosaedro

20 triángulos equiláteros
20 triángulos eqüiláteros idênticos

icosaedro esférico

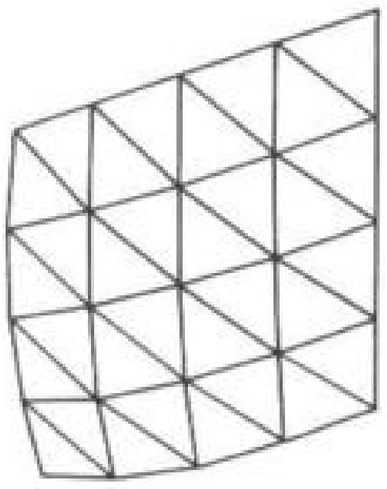
20 triángulos equiláteros idénticos
20 triângulos esféricos eqüiláteros idênticos

bisse

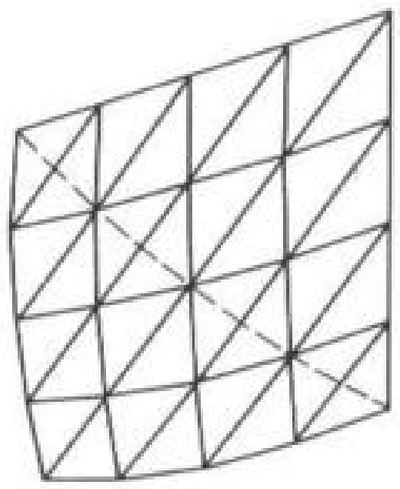
60 triángulos idénticos formados por 15 grandes círcul
60 triângulos idênticos formados por 15 grandes arcos

## Mallas típicas para las cúpulas geodésicas

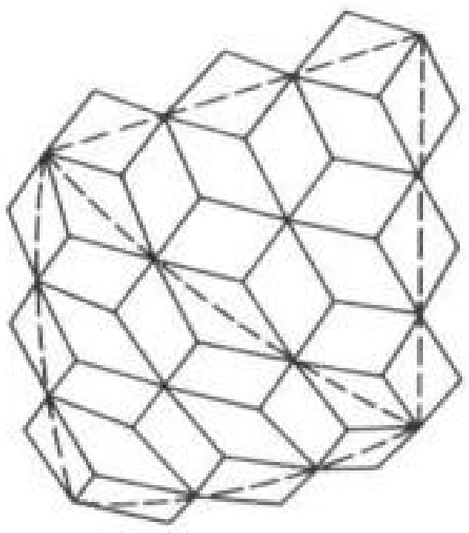
## Malhas típicas para cúpulas geodésicas



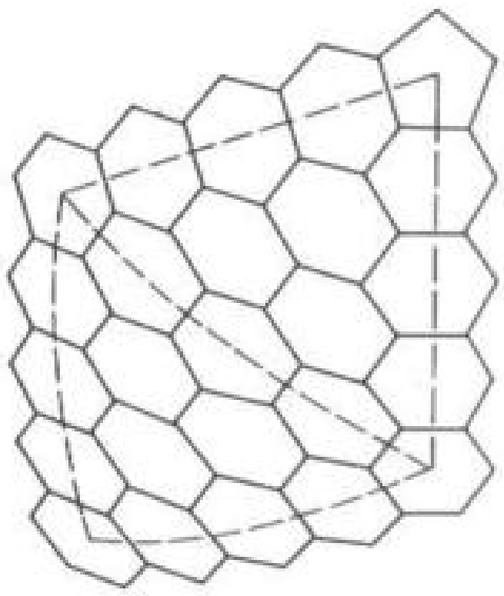
triangular / triangular



semirromboidal / semi-rômbica



romboidal / rômbica



hexagonal / hexagonal

Sistemas de cechas para superficies esféricas

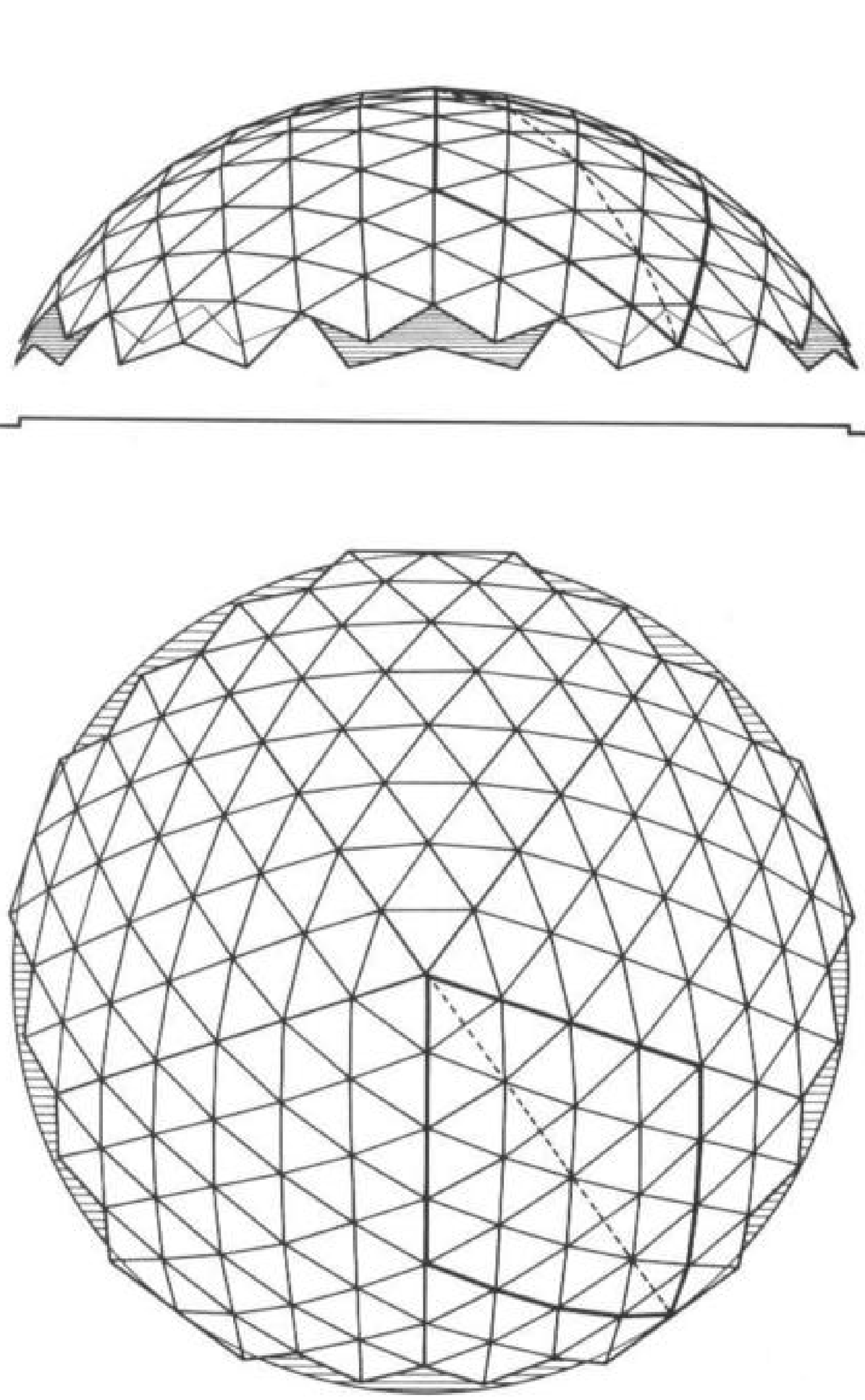


Icosaedro esférico con distribución de barras triangular
Icosaedro esférico com entrelçamento triangular

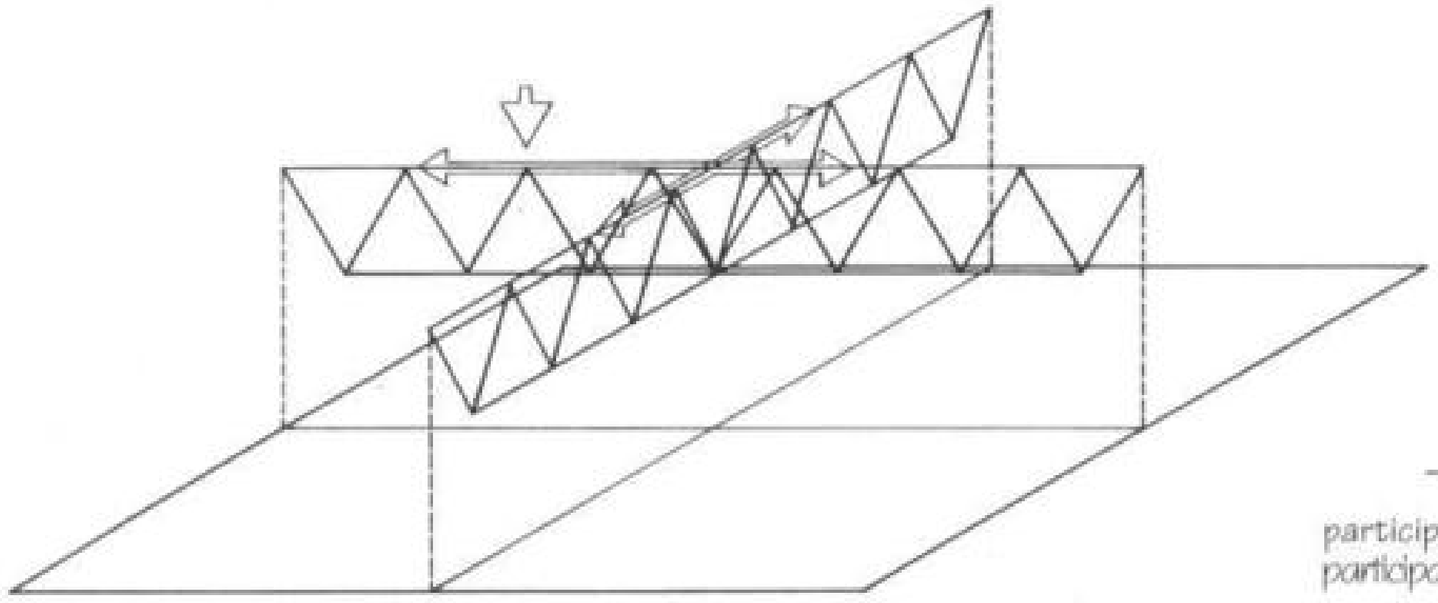
Sistemas de treliças para superficies esféricas



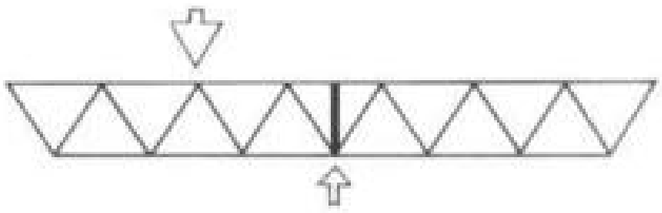
Cúpula geodésica
Cúpula geodésica



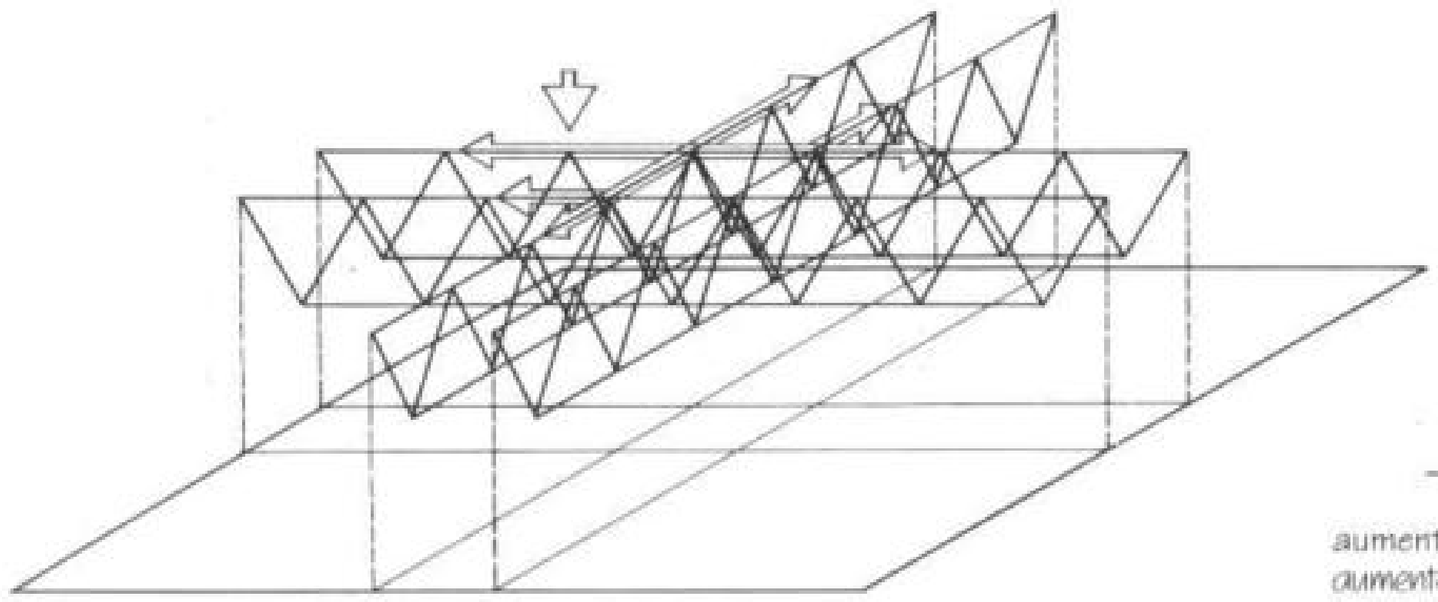
Sistema de sustentación de una cercha espacial

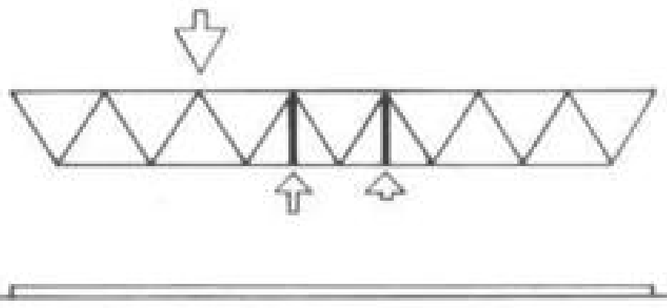


Mecanismo portante de treliça espacial

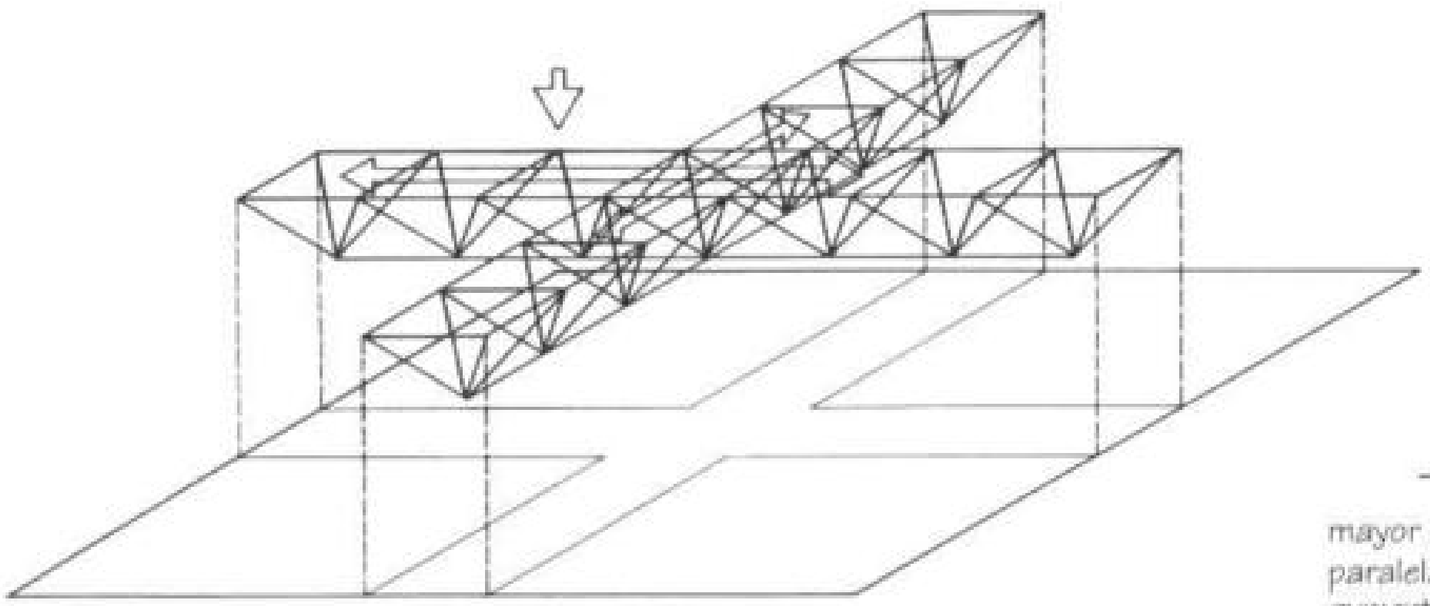


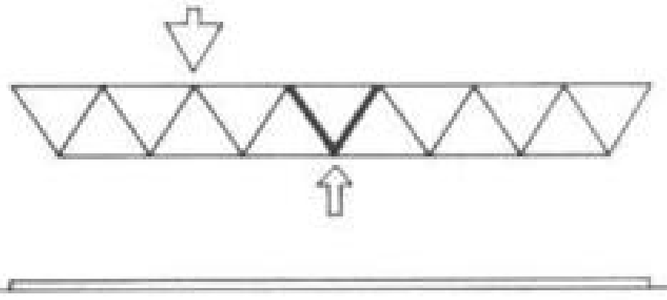
participación en el efecto resistente de la cercha sin carga directa
participação da treliça indiretamente carregada na resistência à deformação



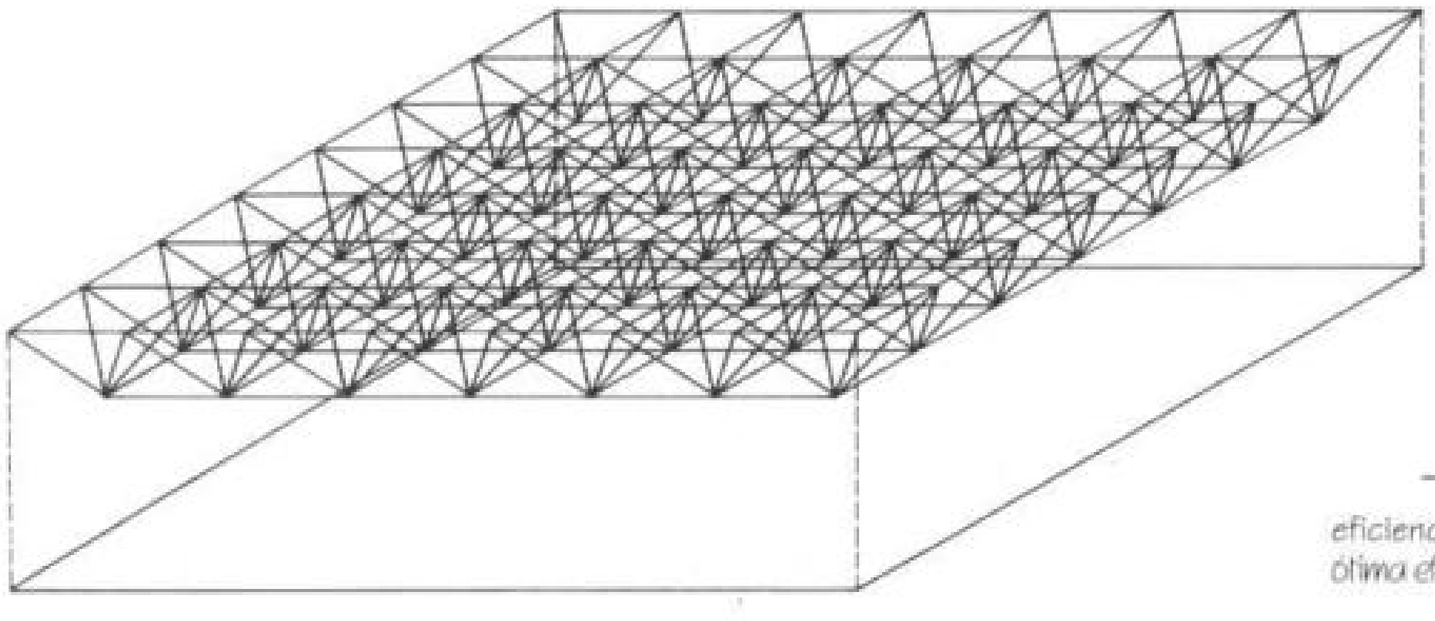


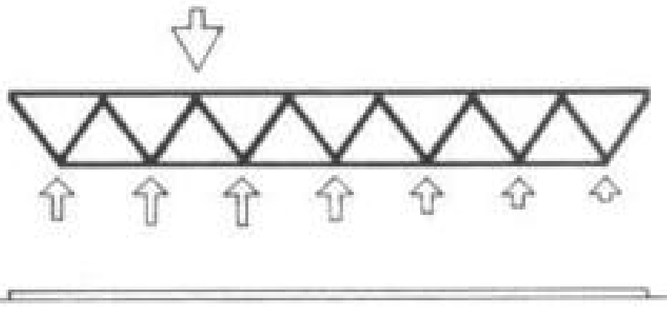
aumento de la eficiencia por juxtaposición de cerchas paralelas
aumento da eficiência por meio da justaposição de treliças paralelas adicionais





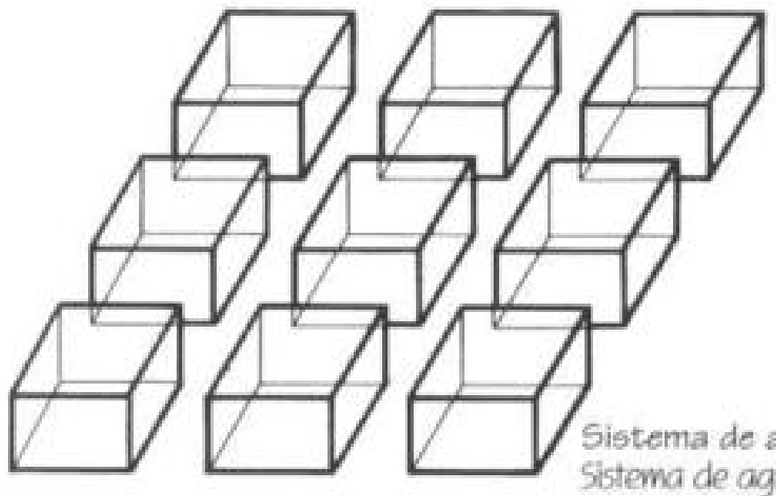
mayor aumento de la eficiencia mediante combinación de cerchas paralelas
aumento posterior da eficiência por meio da combinação de treliças paralelas





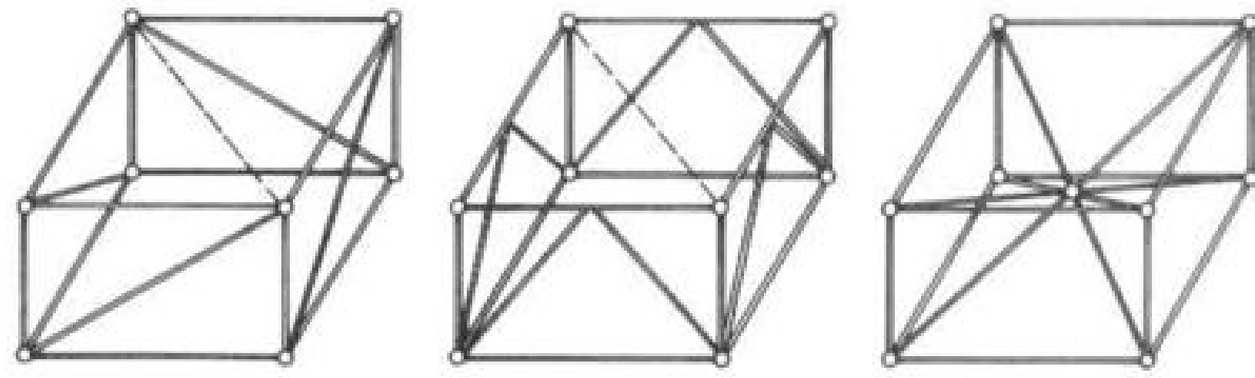
eficiencia máxima mediante continuidad en longitud y anchura
ótima eficiência por meio da continuidade do sistema em comprimento e largura

## Mallas espaciales coplanarias compuestas por prismas rectangulares



Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades

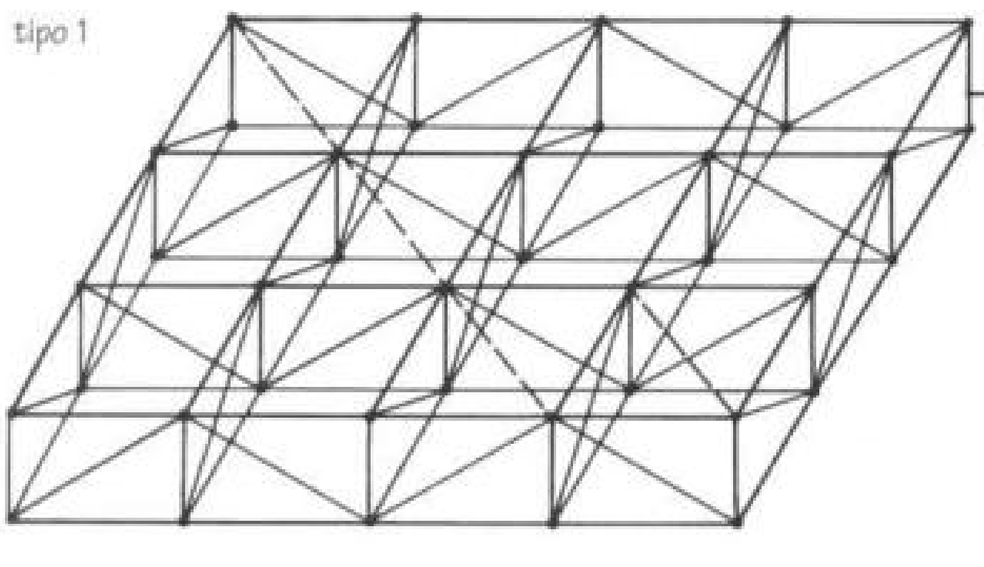
## Sistemas de treliças espaciais compostas por prismas retangulares

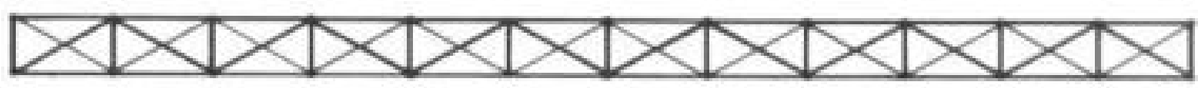


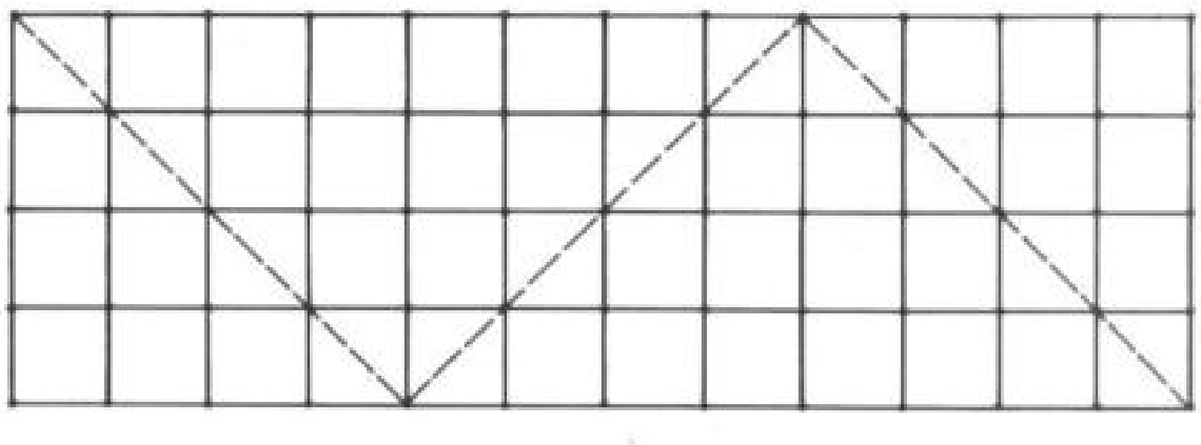
tipo 1 tipo 2 tipo 3 Unidades espaci
Unidades espa

Sistema con arriostramiento simple de las caras verticales de los prismas
Sistema com entreliçamento simples de faces prismáticas verticais

tipo 1

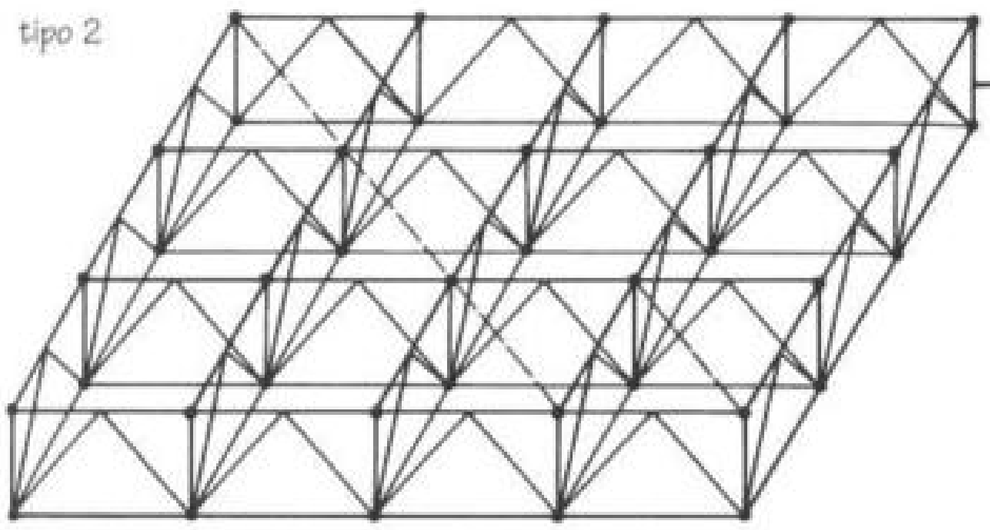


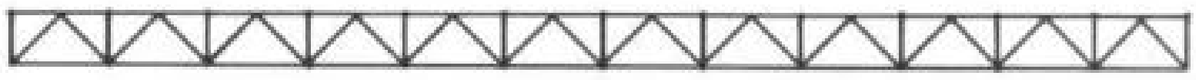


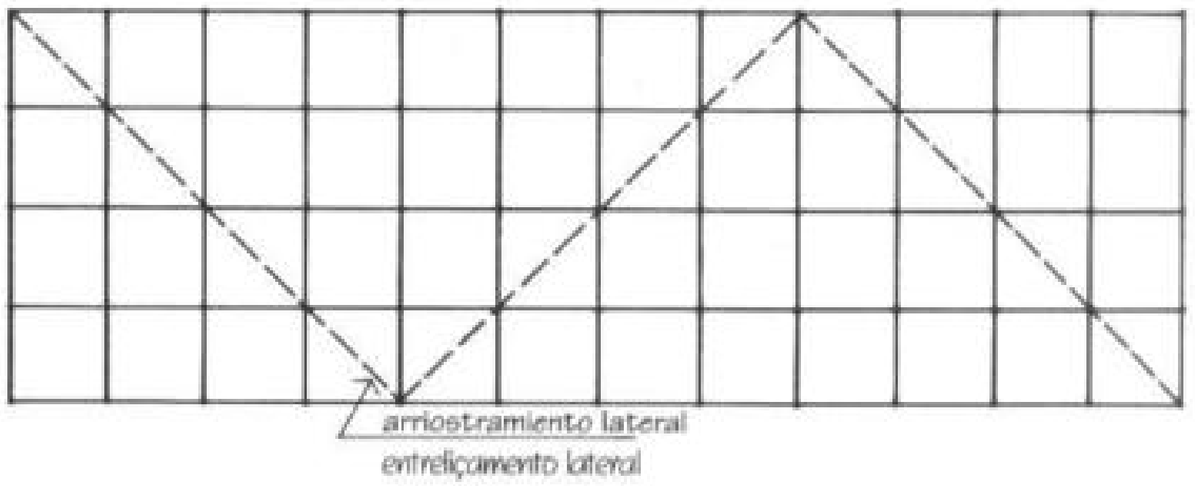


Sistema con doble arriostramiento de las caras verticales de los prismas
Sistema com entreliçamento duplo de faces prismáticas verticais

tipo 2

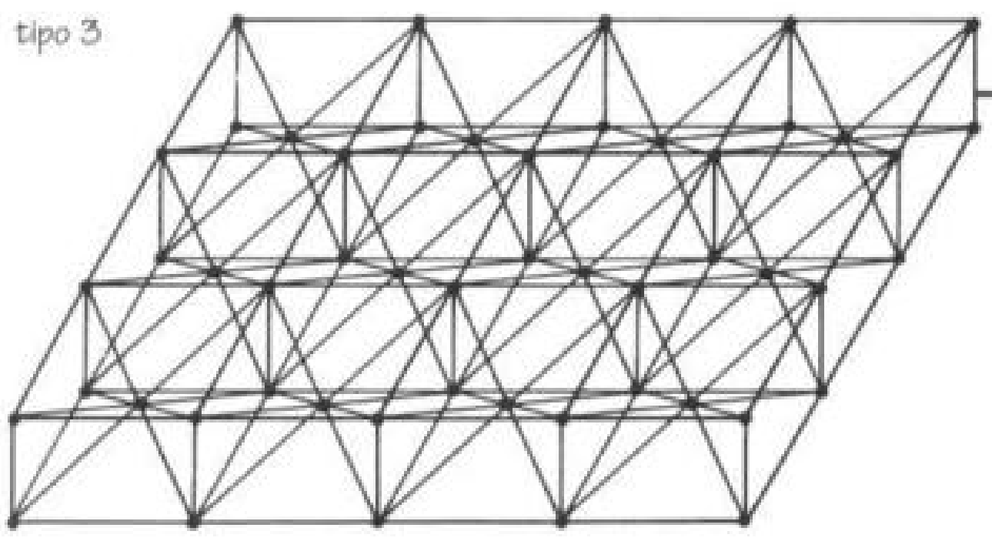


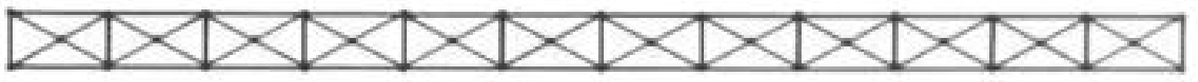


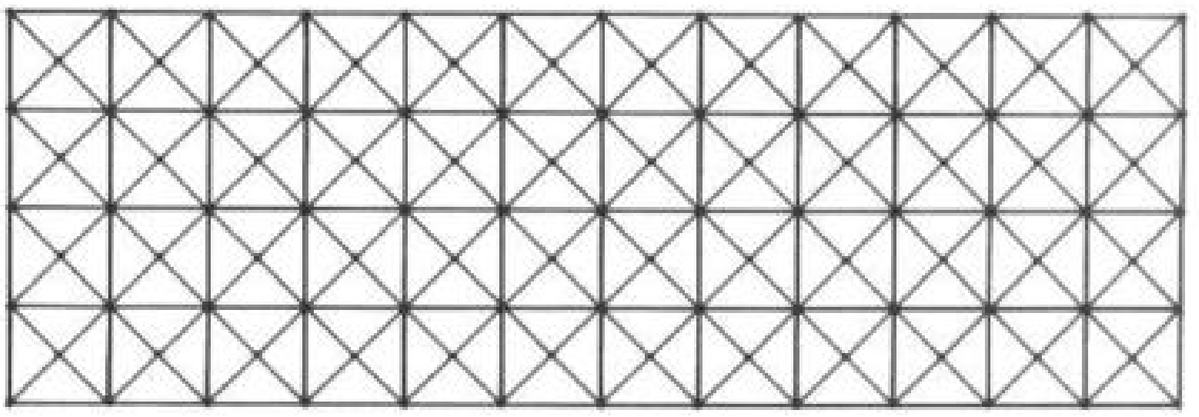



Sistema con arriostramiento cruzado de las secciones diagonales de los prismas
Sistema com entreliçamento cruzado de seções prismáticas diagonais

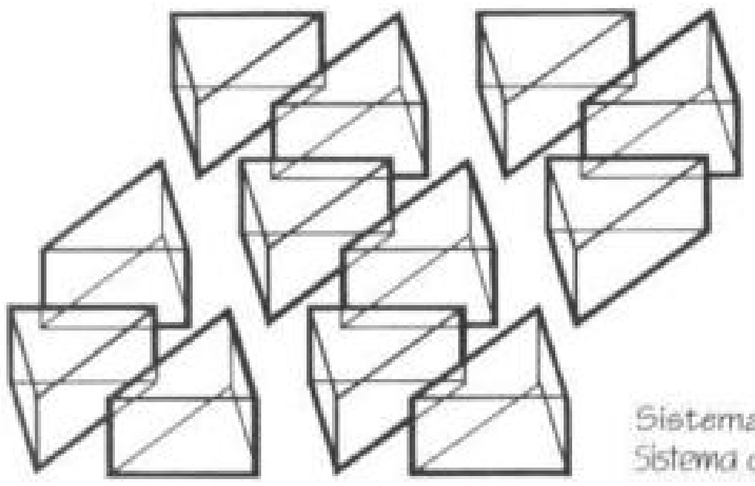
tipo 3



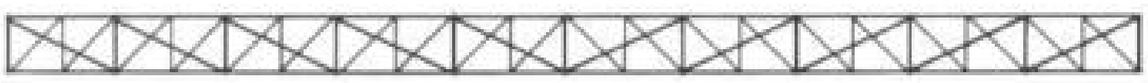


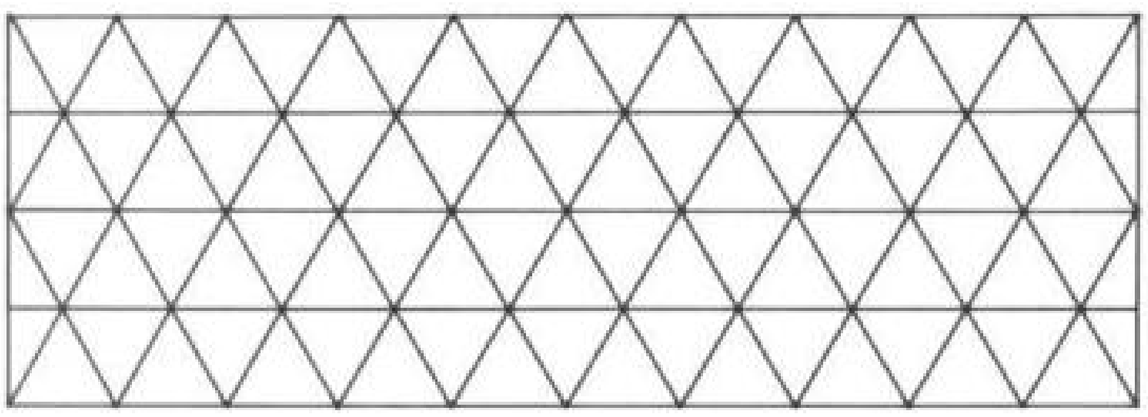


Mallas espaciales coplanarias compuestas por prismas triangulares

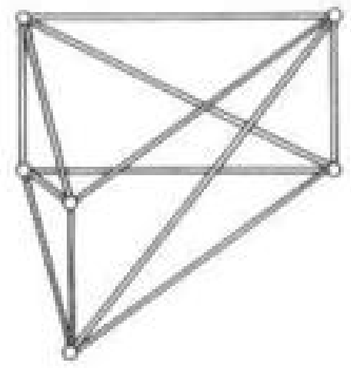


Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades

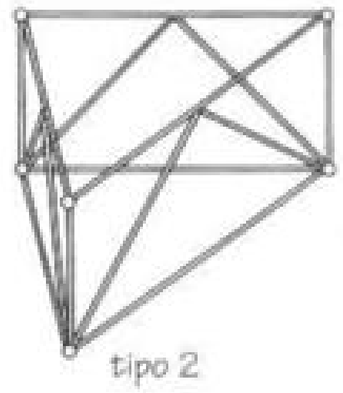




Sistema de treliça espacial plana composta de prismas triangulares



tipo 1

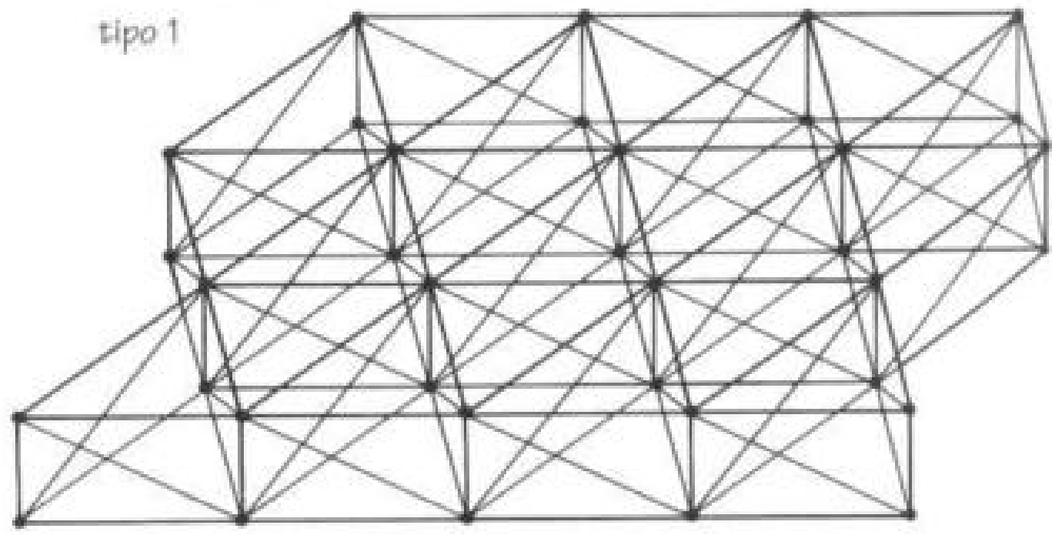


tipo 2

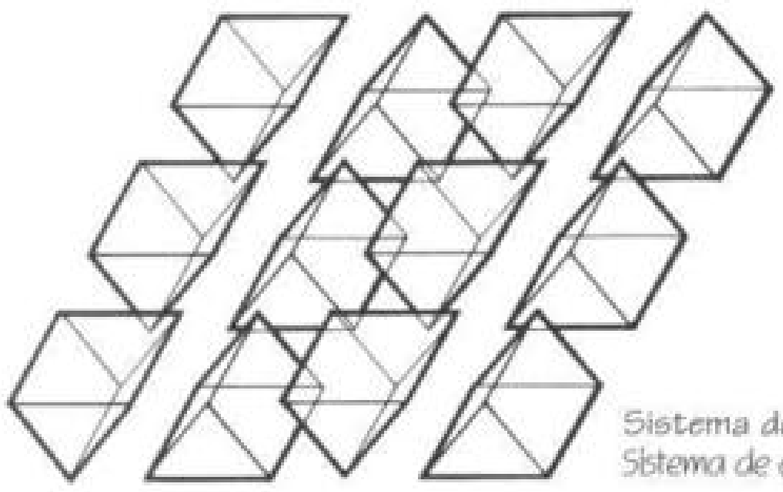
Unidades espaciales
Unidades espaciais

Sistema con arriostramiento simple de las caras rectangulares de los prismas
Sistema com entreliçamento simples de faces prismáticas retangulares

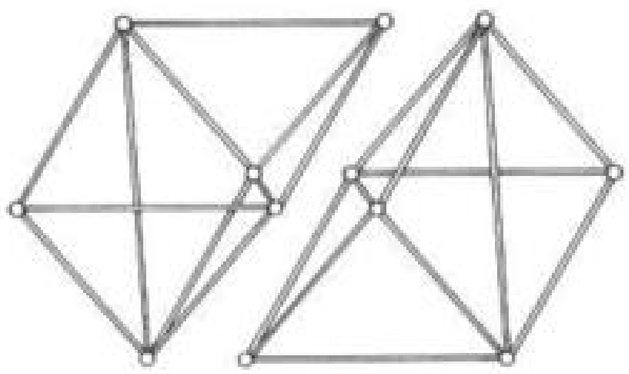
tipo 1



Cerchas espaciales coplanarias compuestas por prismas triangulares

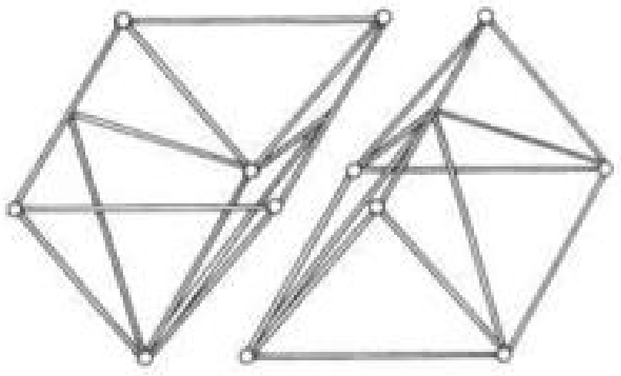


Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades



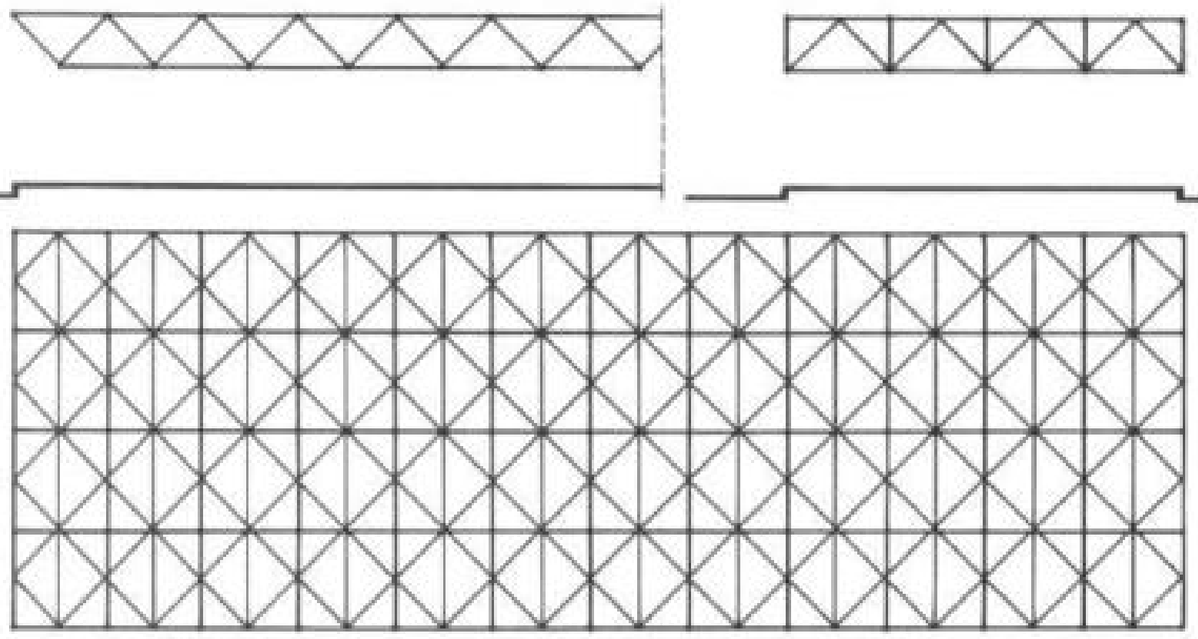
tipo 1

Sistema de treliça espacial plana composta de prismas triangulares



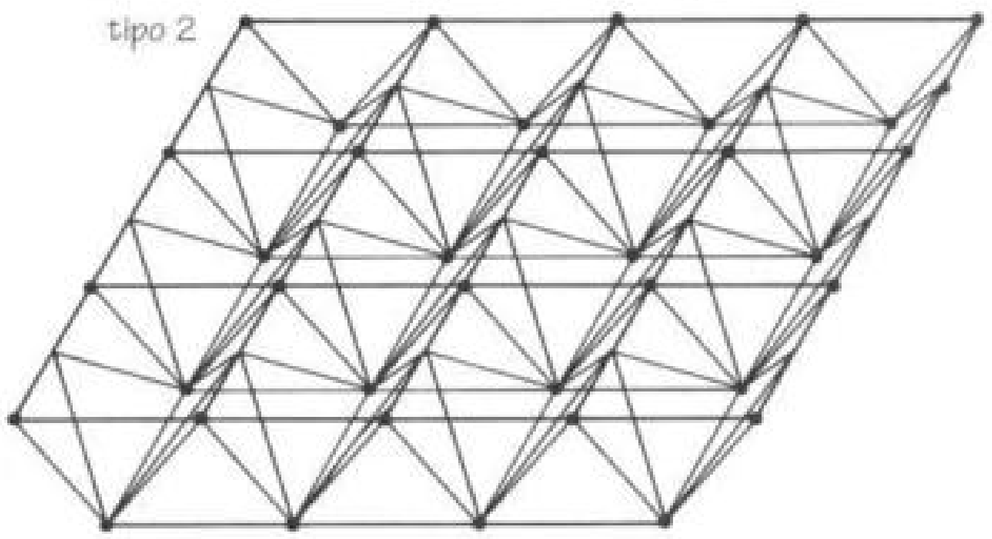
tipo 2

Unidades espaciales
Unidades espaciais

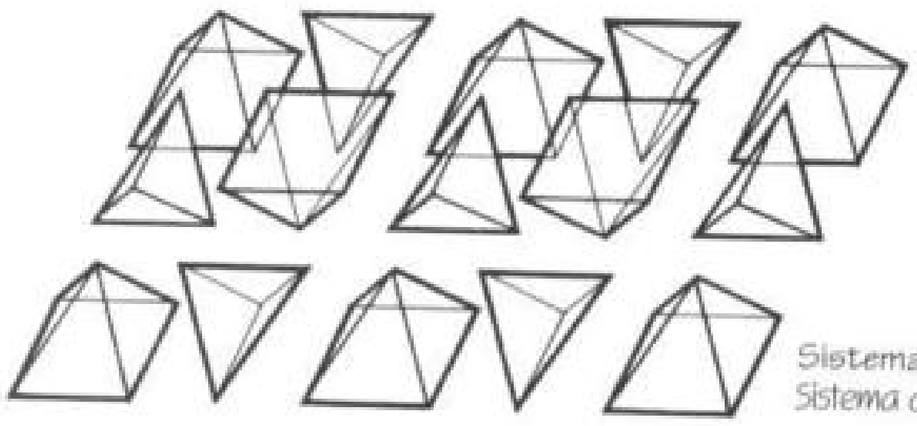


Sistema con doble arriostramiento de las caras rectangulares de los prismas
Sistema com entreliçamento duplo de faces prismáticas retangulares

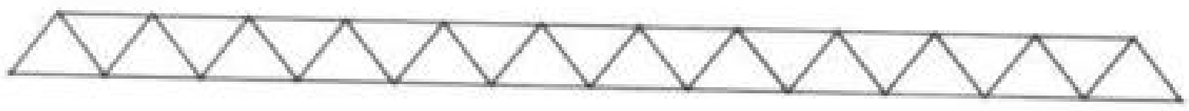
tipo 2

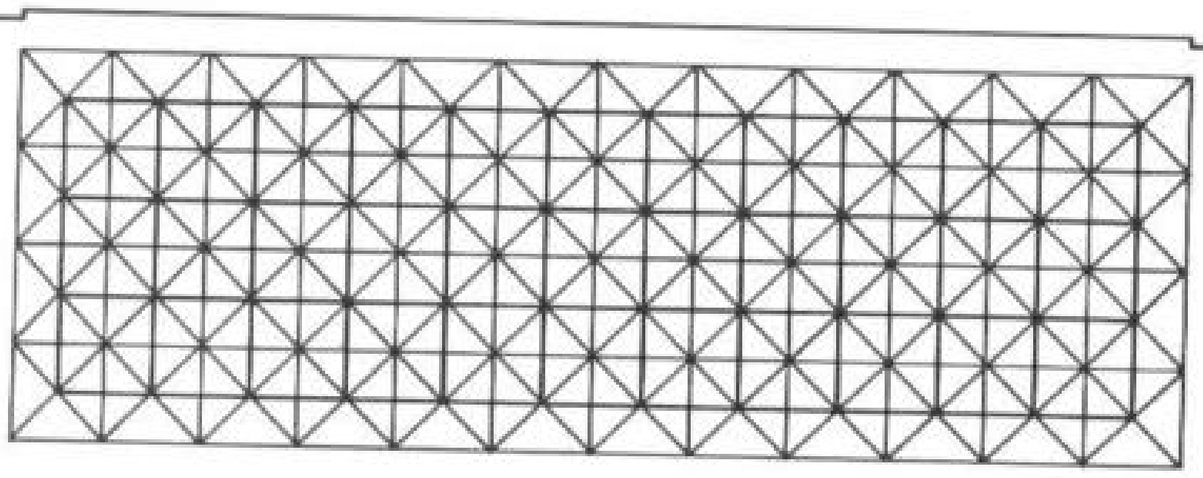


Mallas espaciales coplanarias compuestas por tetraedros y semioctaedros

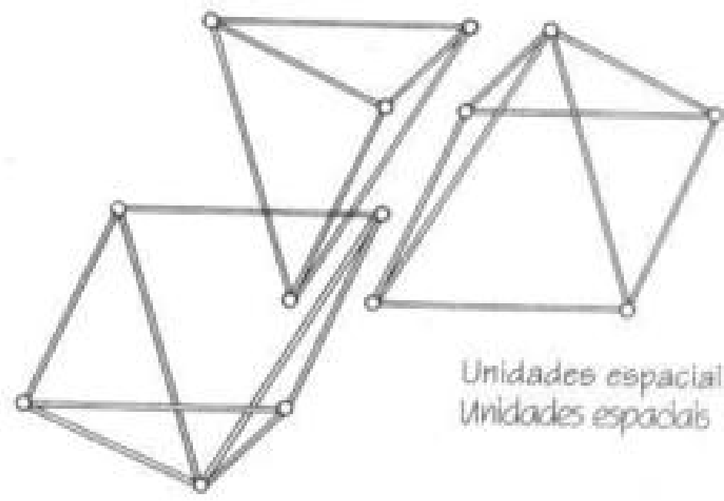


Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades

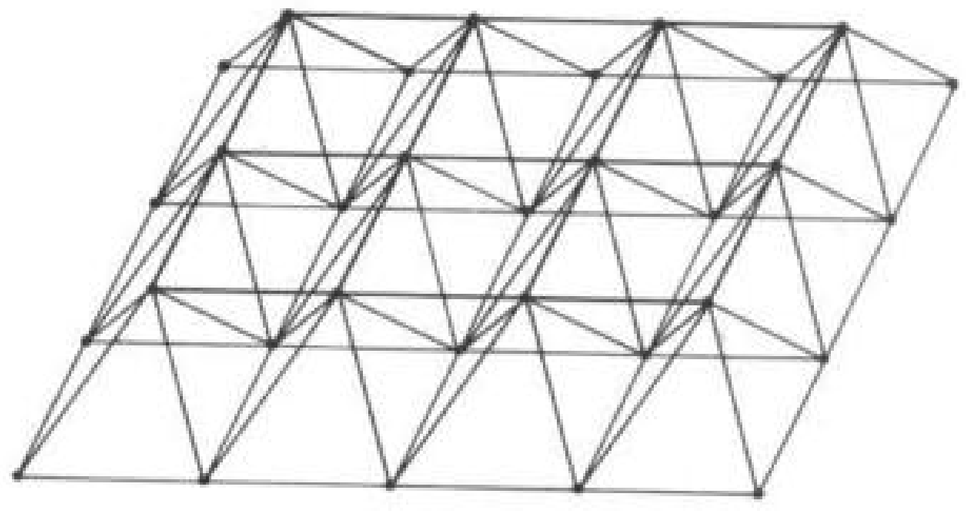




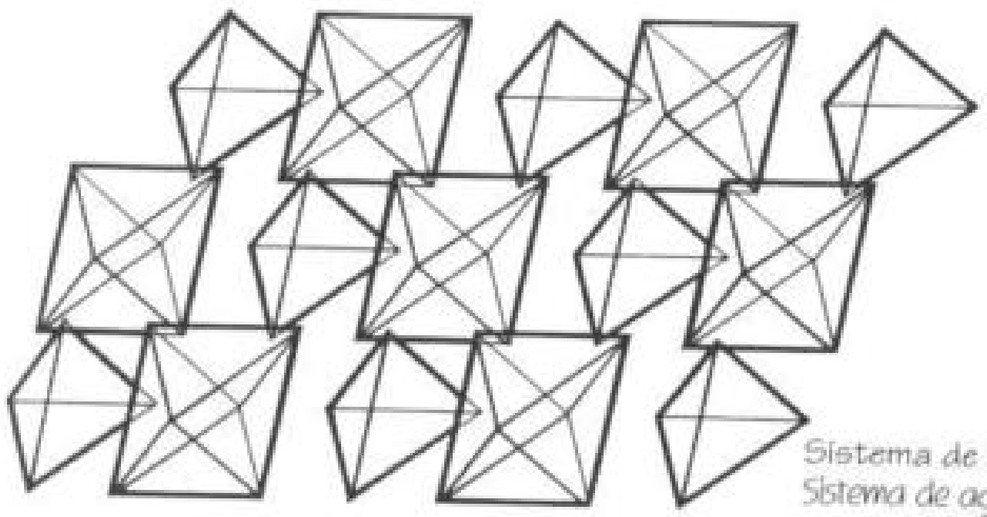
Sistema de treliça espacial plana composta por tetraedros e semi-octaedros



Unidades espaciales
Unidades espaciais



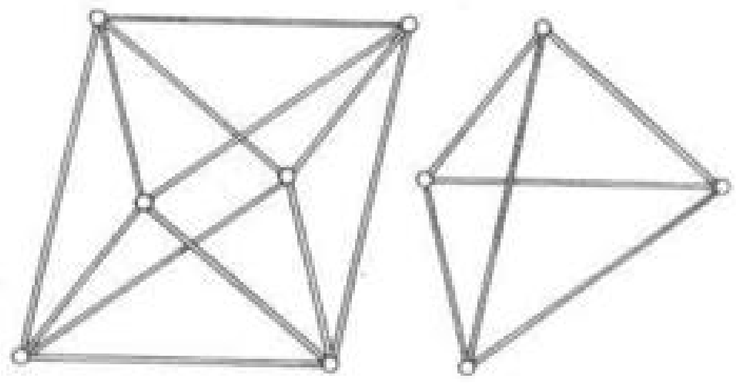
Mallas espaciales coplanarias compuestas por tetraedros y octaedros



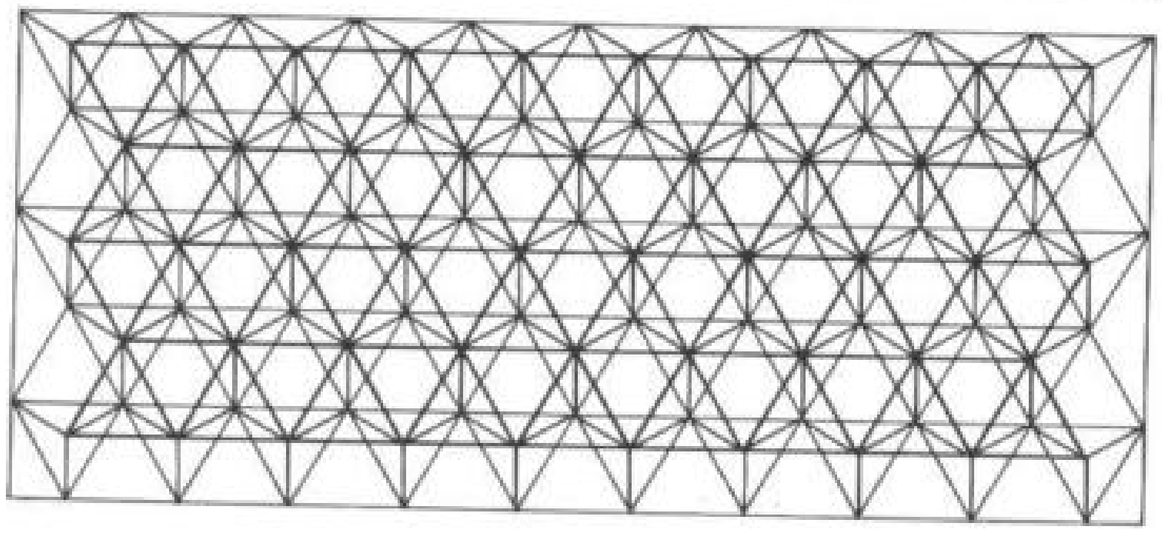
Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades

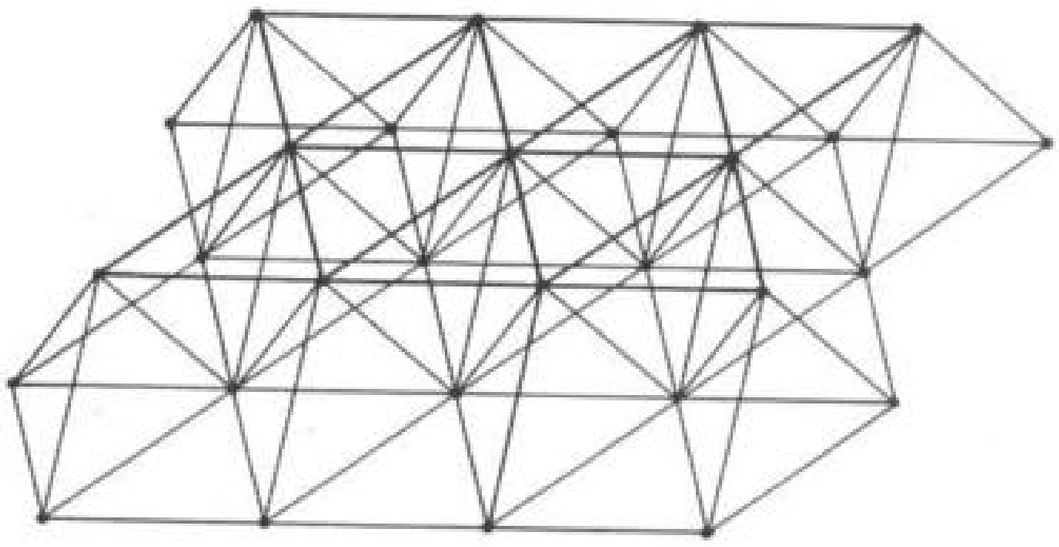


Sistema de treliça espacial plana composta por tetraedros e octaedros

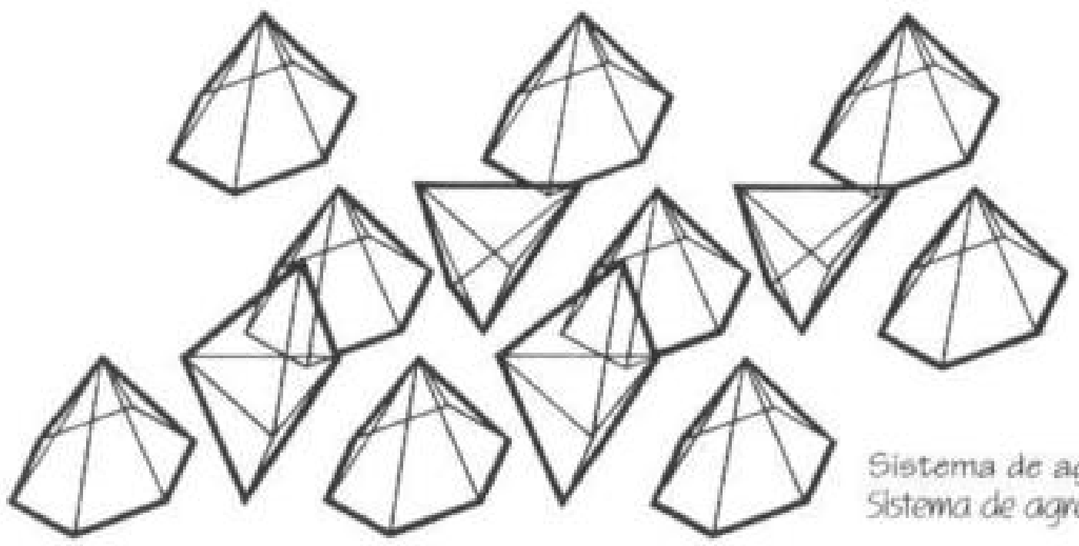


Unidades espaciales
Unidades espaciais

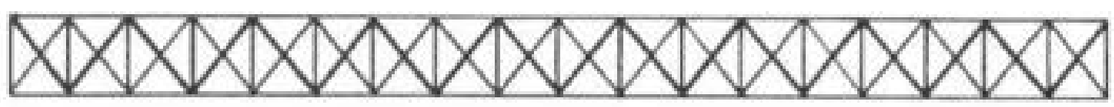


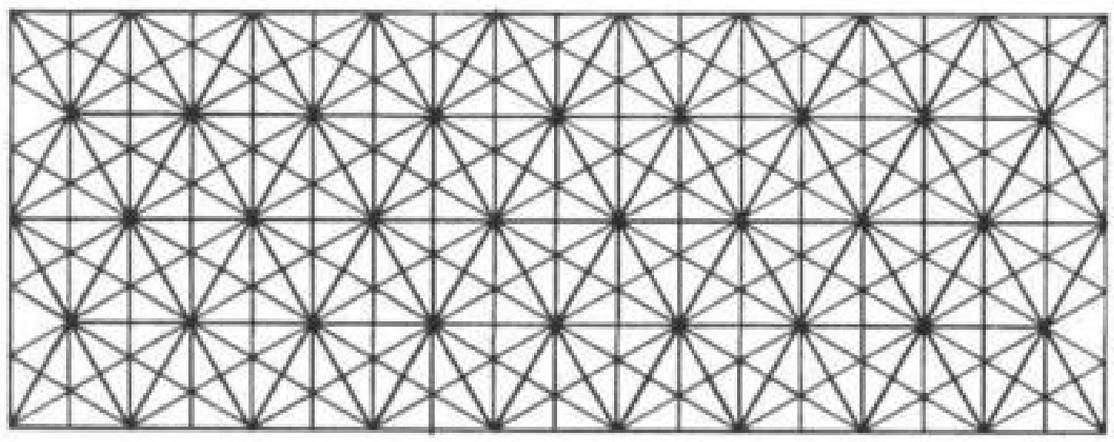


Mallas espaciales coplanarias basadas en la pirámide hexagonal

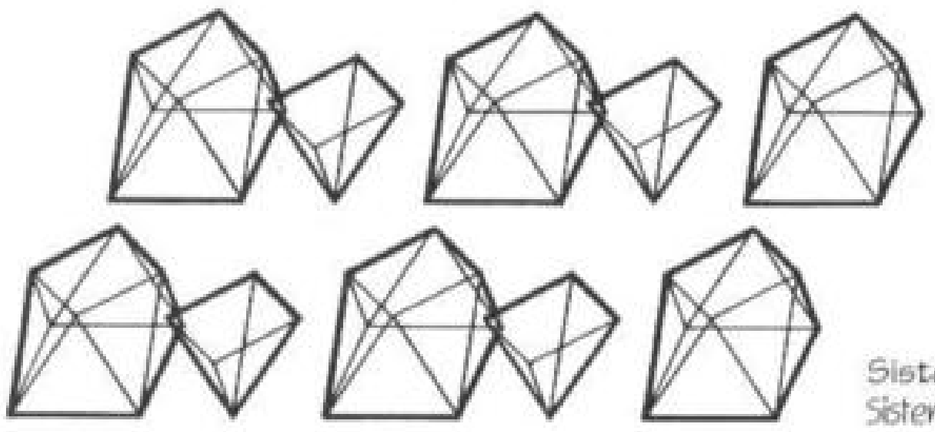


Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades

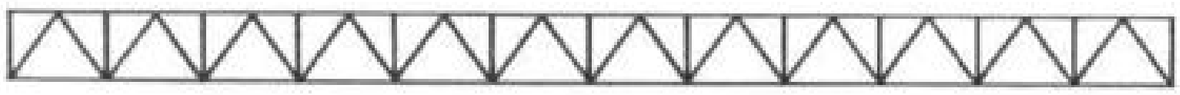


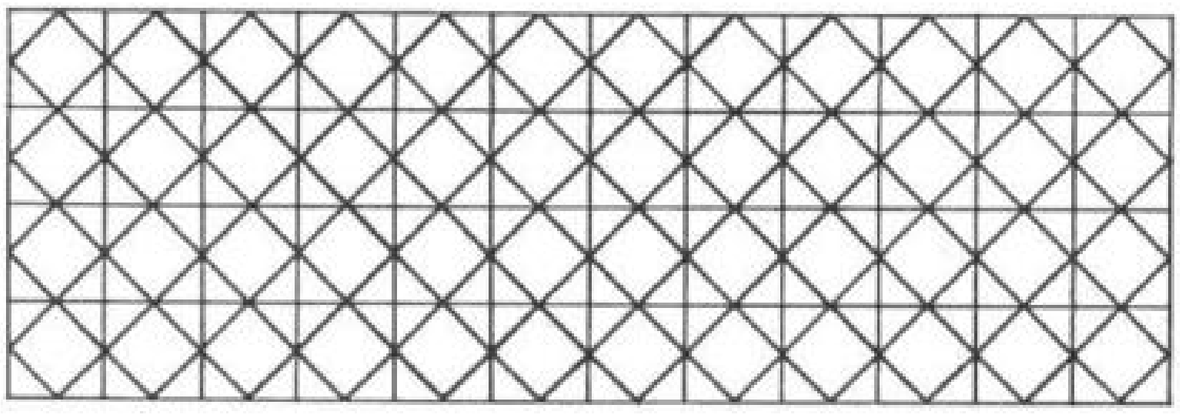


Mallas espaciales coplanarias compuestas por dos retículas con coordenadas diferentes

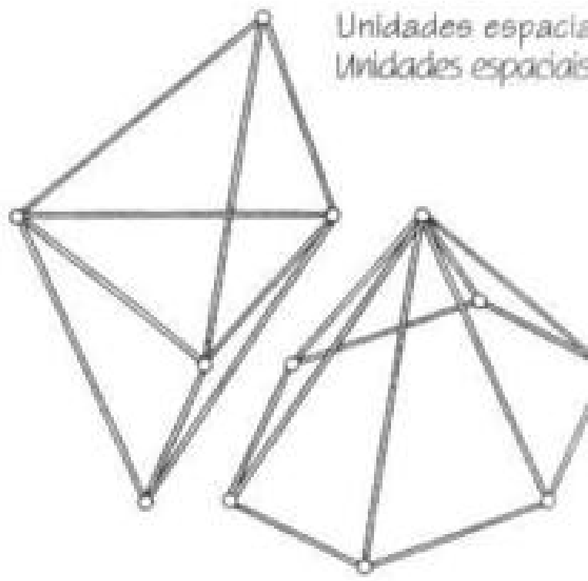


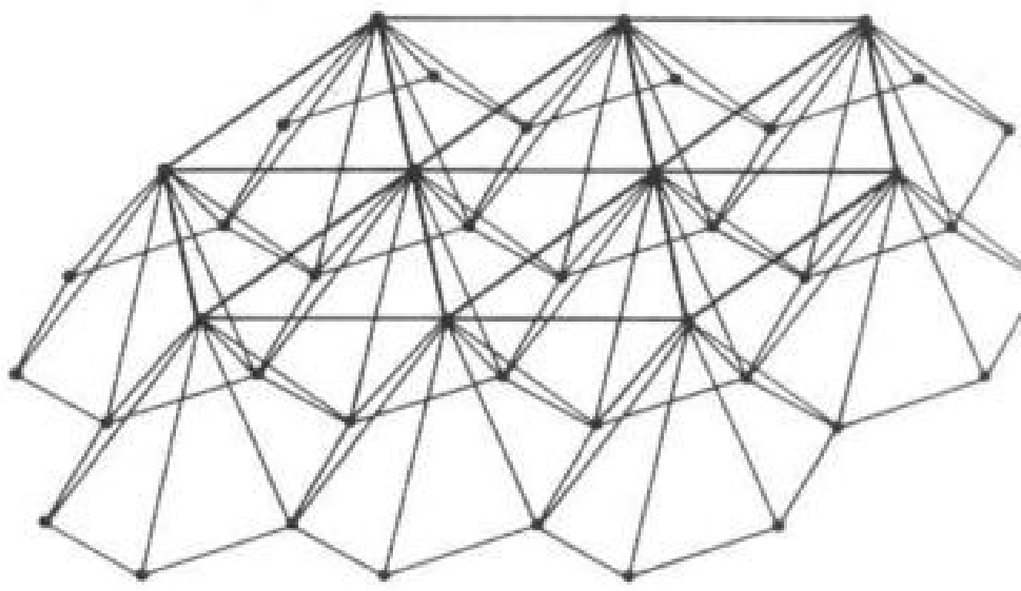
Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades



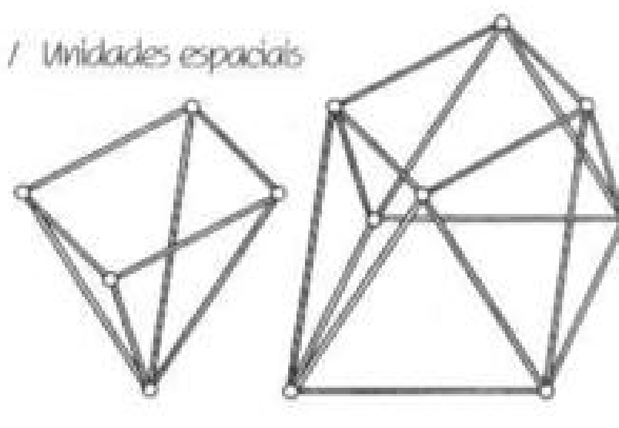


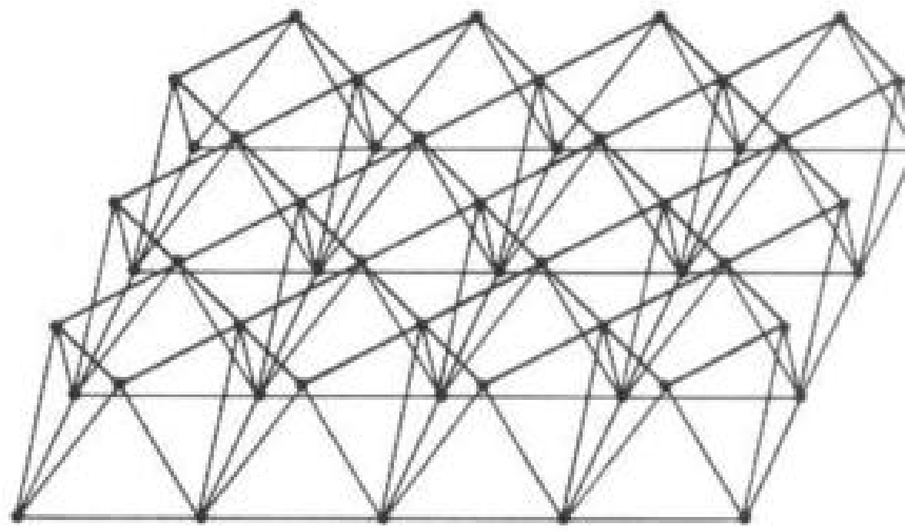
Sistema de treliça espacial plana baseada em pirâmide hexagonal



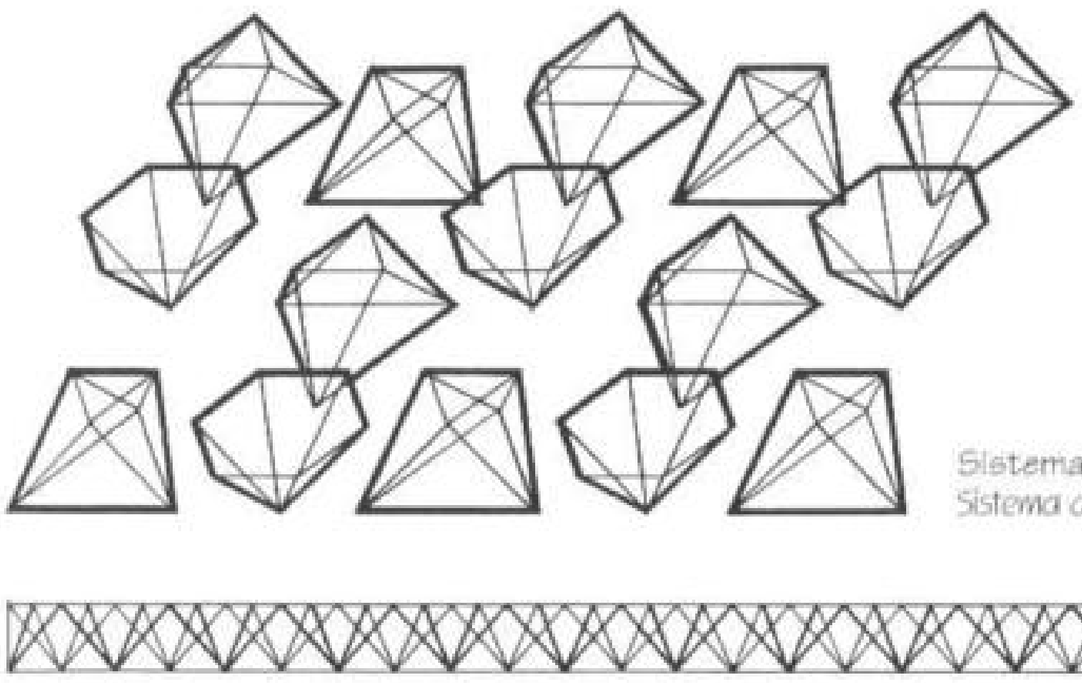



Sistema de treliça espacial plana composta por duas reticulas com coordenadas diferentes



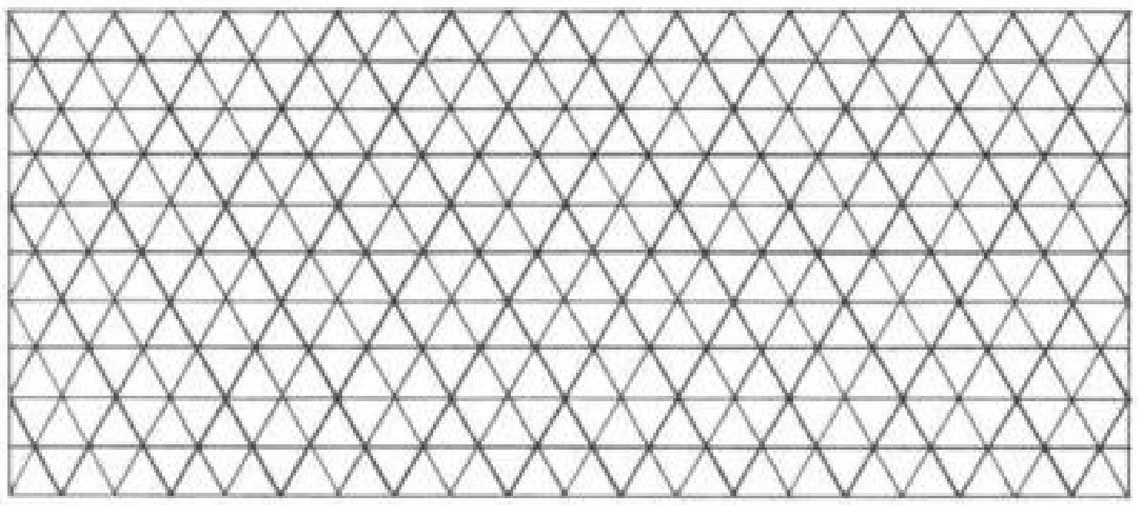



Mallas espaciales coplanarias basadas en la pirámide hexagonal invertida

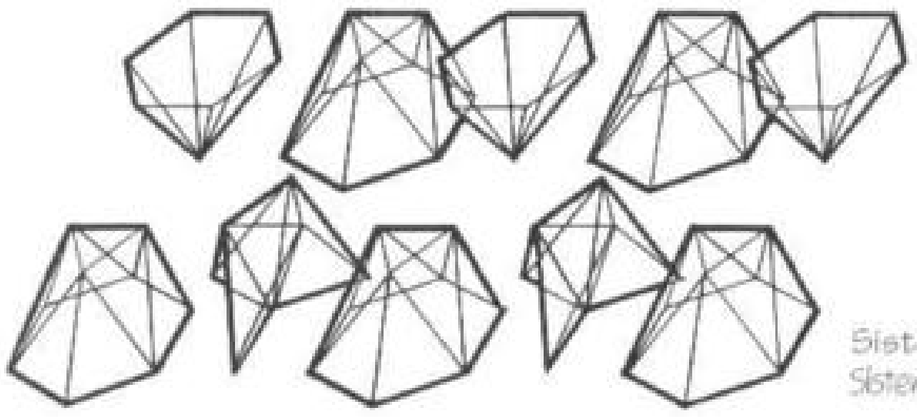


Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades

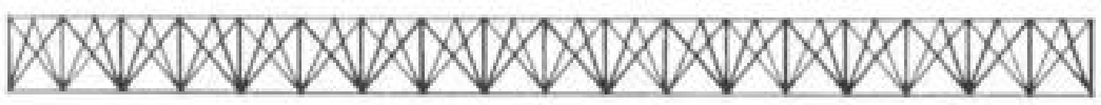


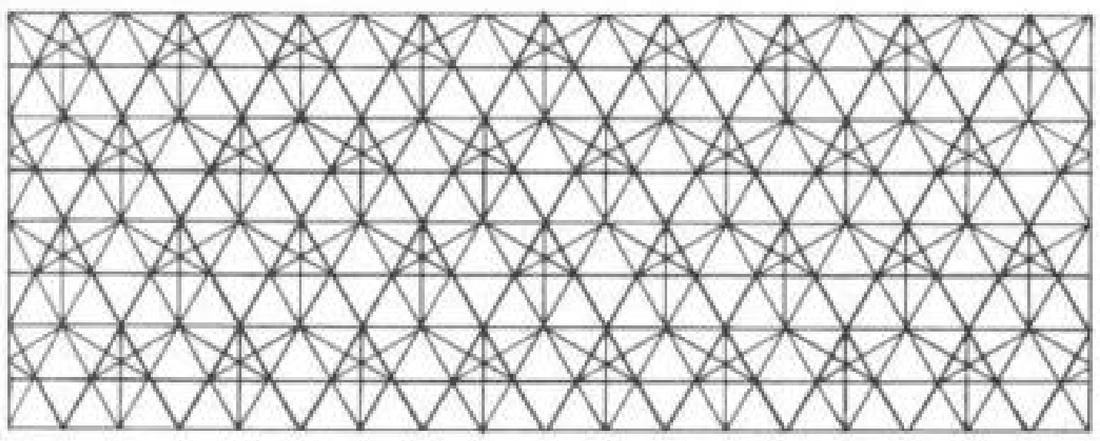


Mallas espaciales coplanarias compuestas por dos retículas hexagonales diferentes

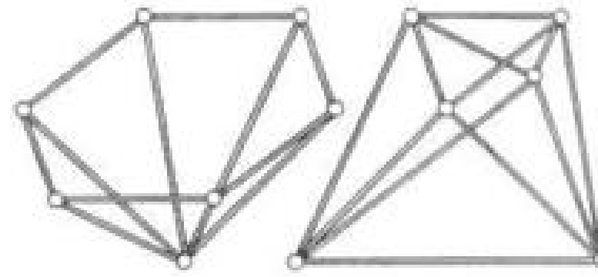


Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades

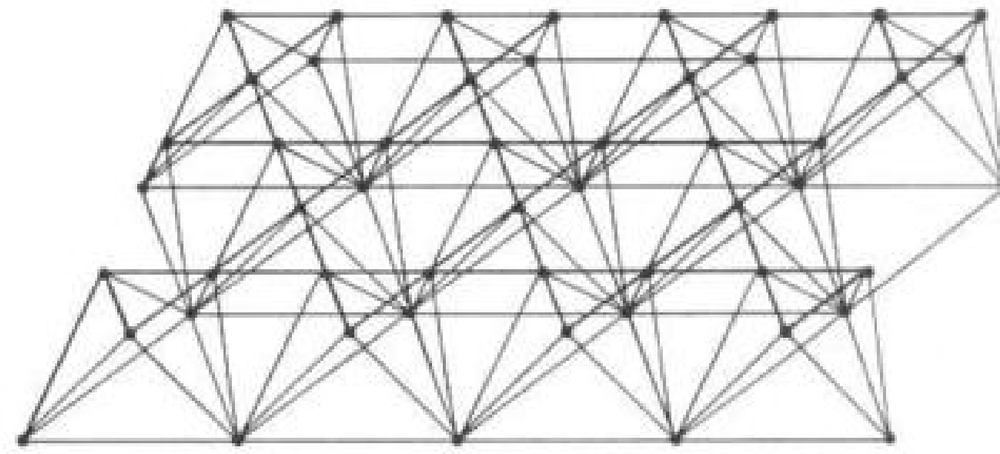




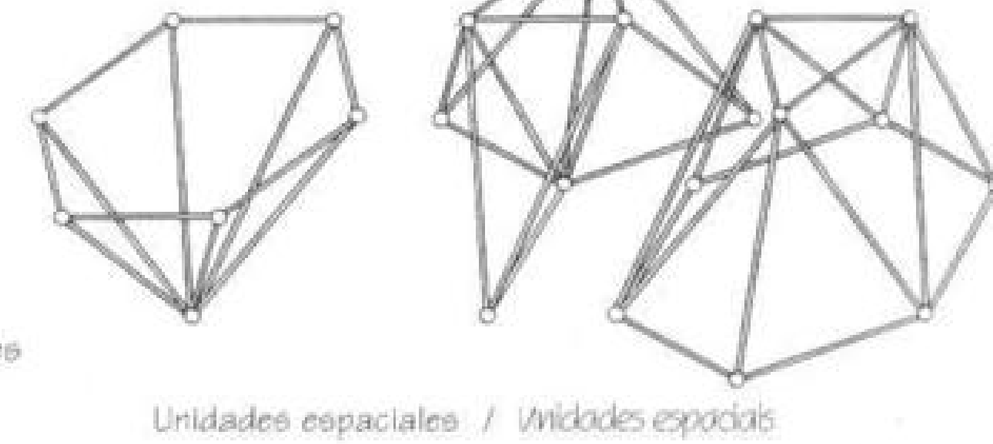
Sistema de treliça espacial plana com pirâmide hexagonal invertida



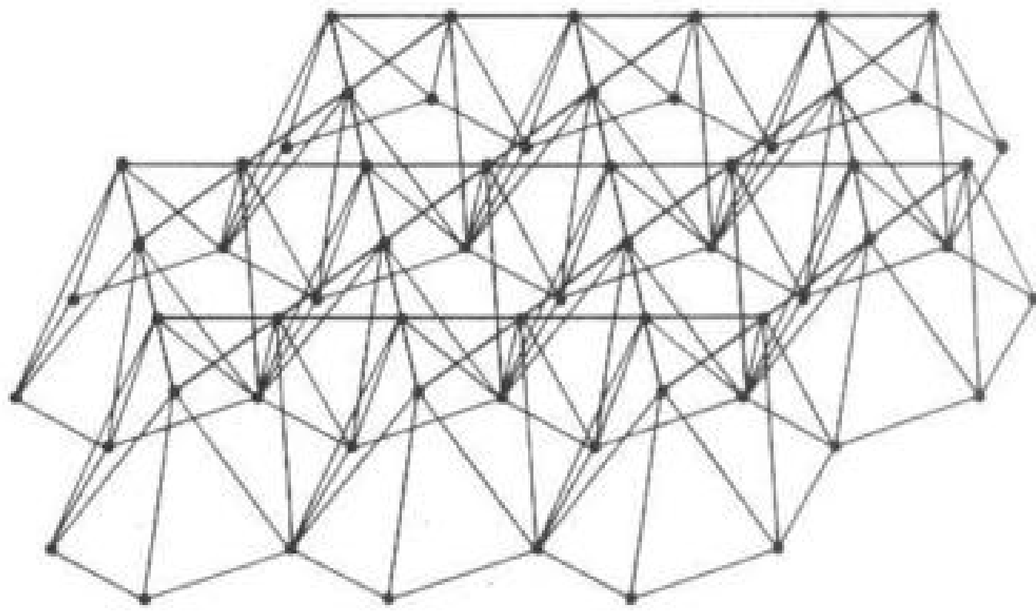
Unidades espaciales / Unidades espaciais



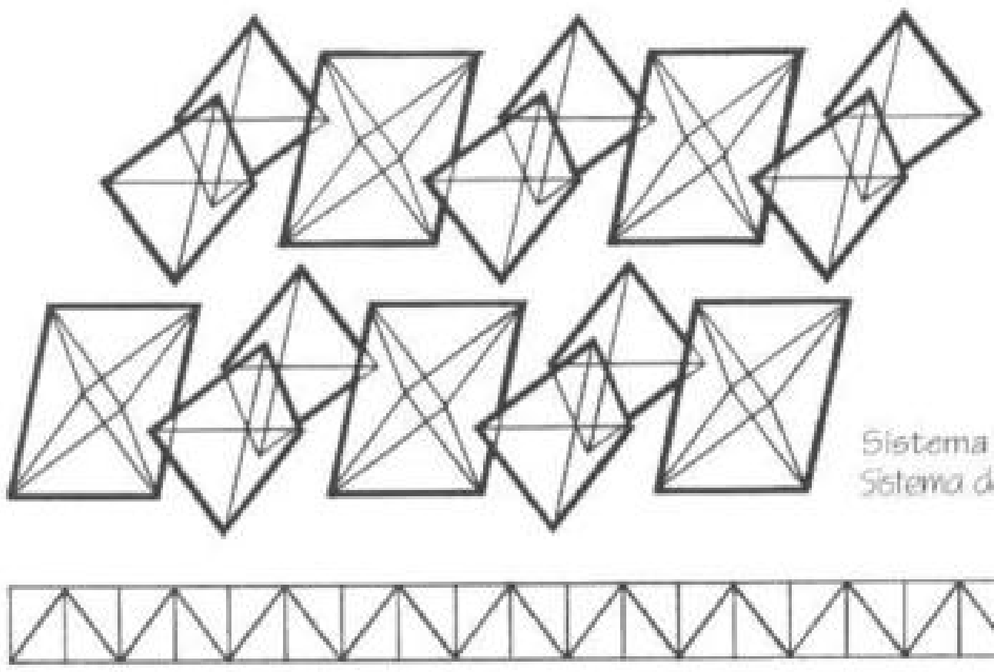
Sistema de treliça espacial plana composta por duas reticulas hexagonais diferentes



Unidades espaciales / Unidades espaciais

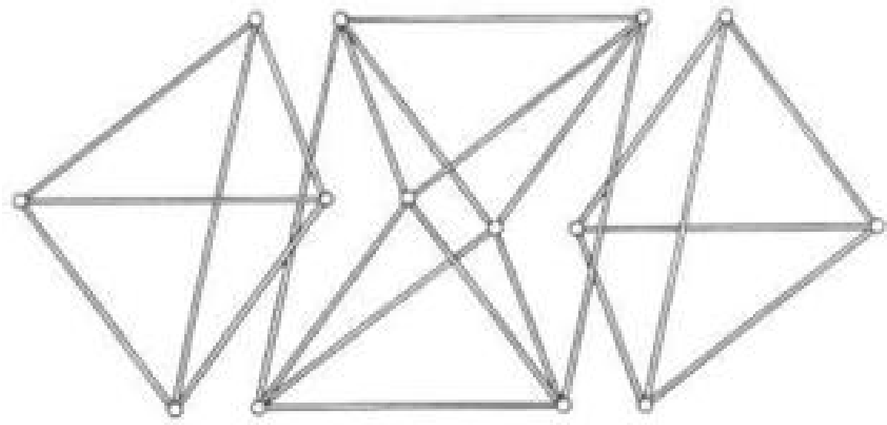


Mallas espaciales coplanarias compuestas por dos retículas triangulares contrapuestas

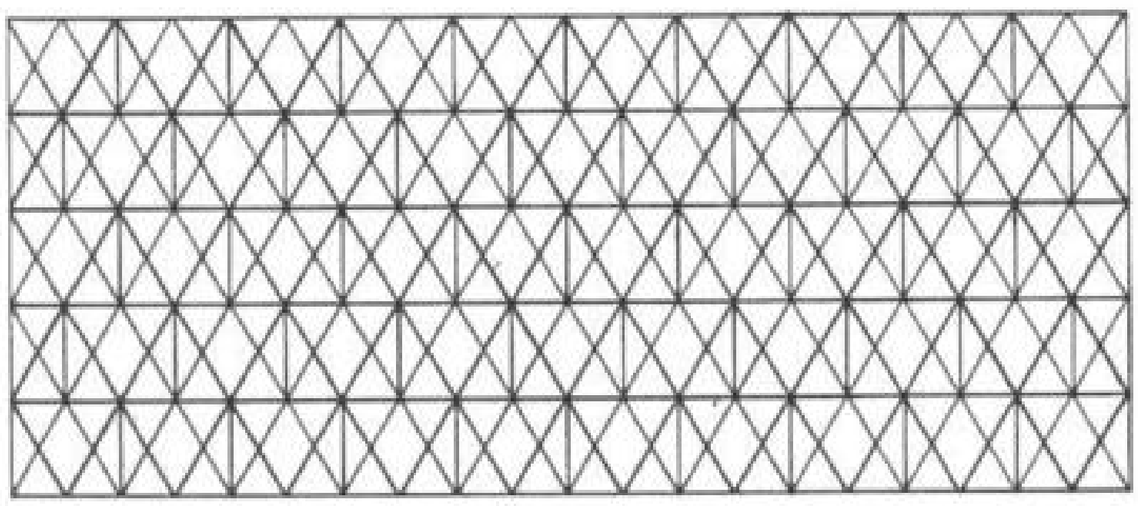


Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades

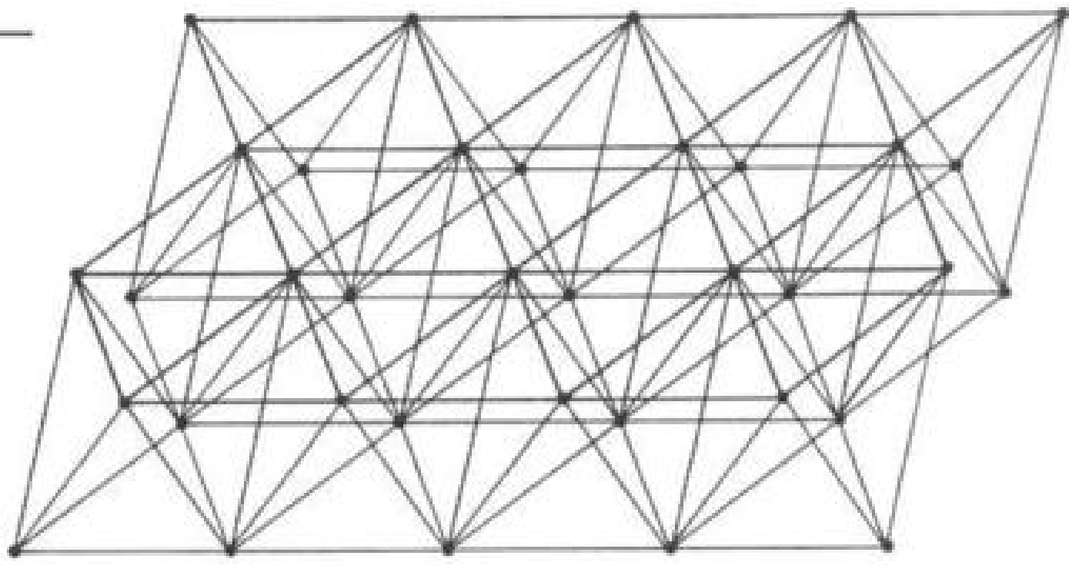
Sistema de treliça espacial plana composta por duas reticulas triangulares contrapostas



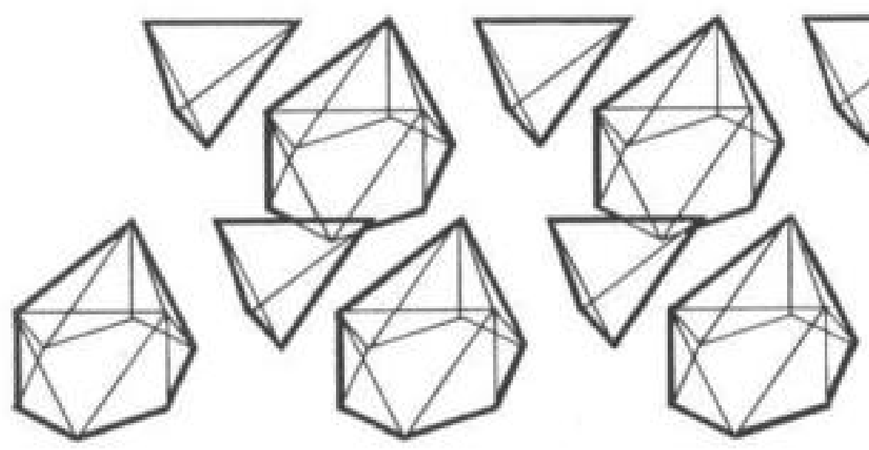
Unidades espaciales / Unidades espaciais



Mallas espaciales coplanarias compuestas por una retícula hexagonal y una triangular, respectivamente



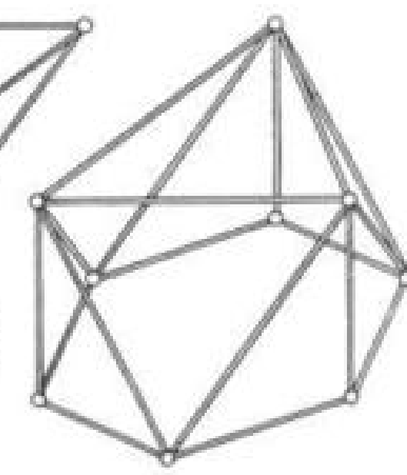
Sistema de treliça espacial plana composta por uma reticula hexagonal e uma triangular



Sistema de agregación de unidades
Sistema de agregação de unidades

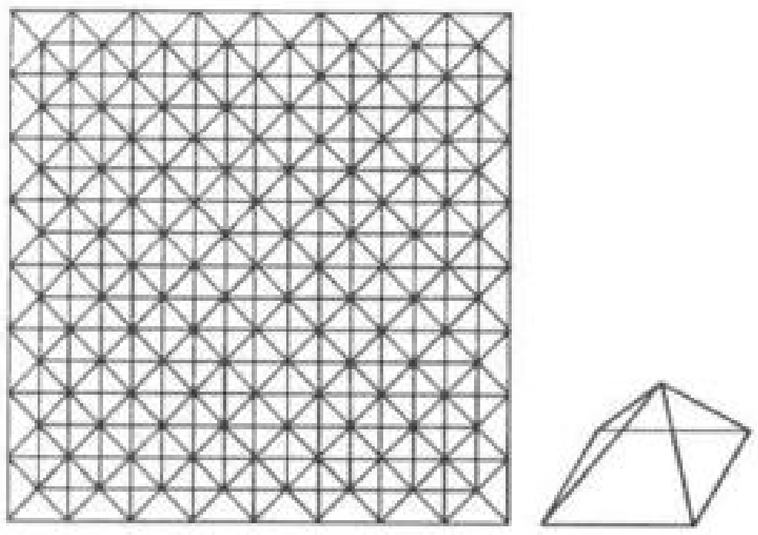


Unidades espaciales
Unidades espaciais

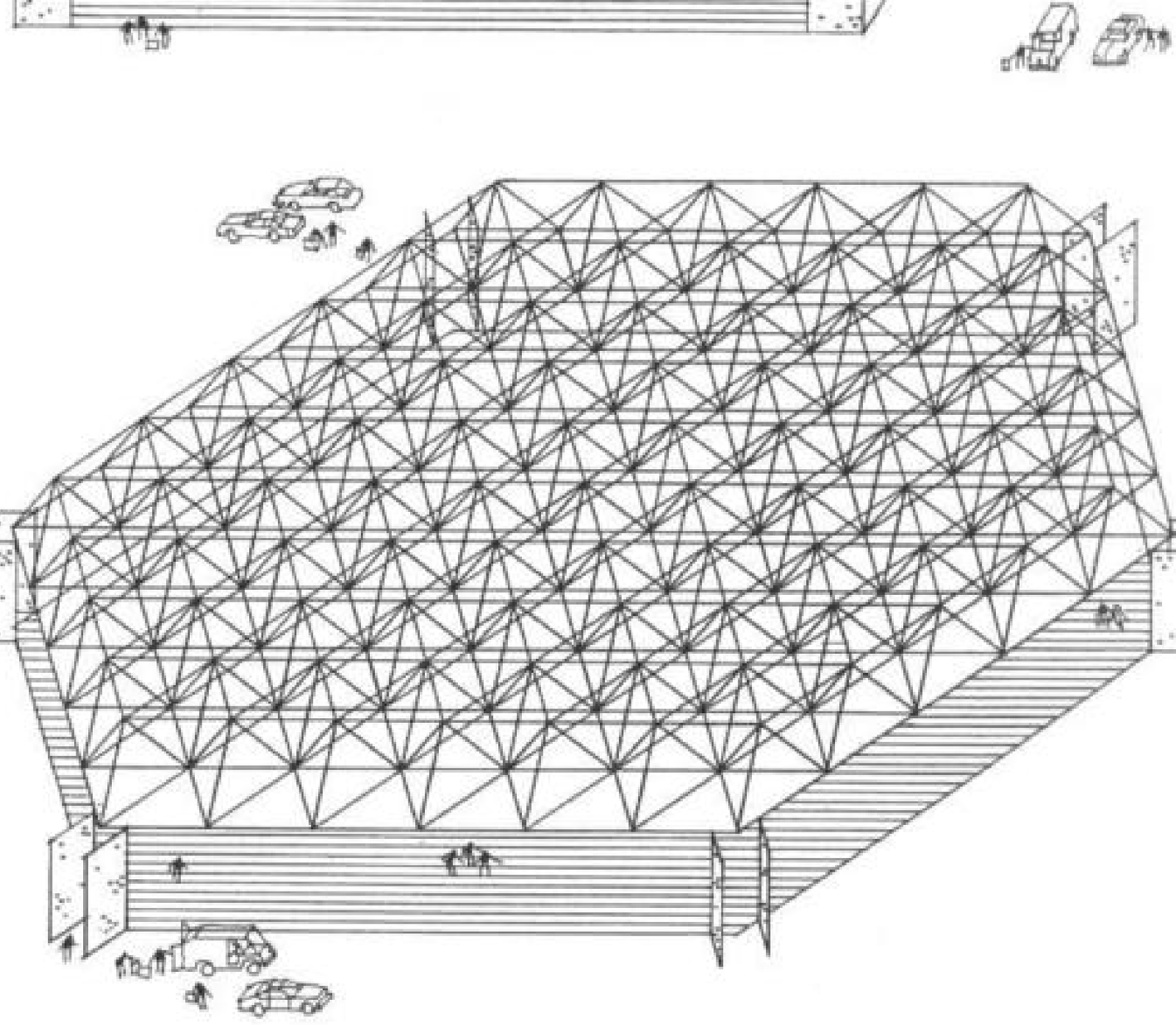


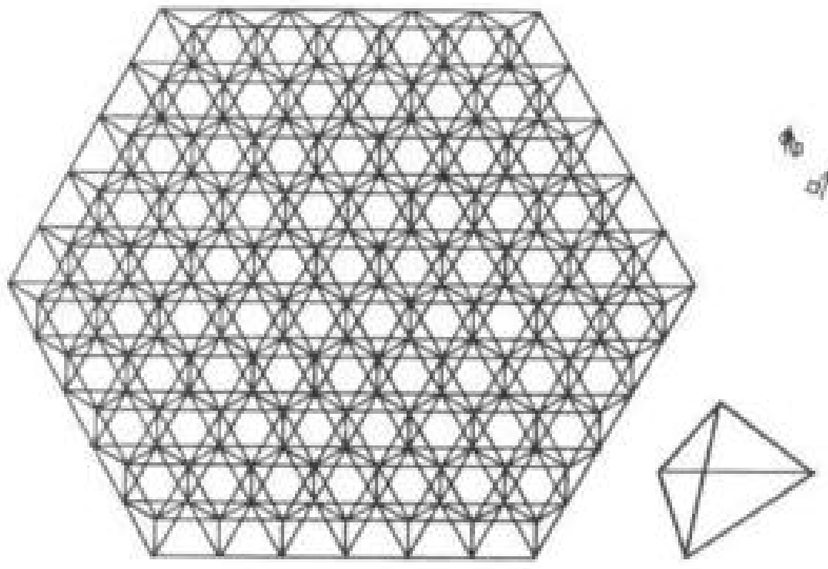
## Sistemas de mallas espaciales de dos capas para grandes luces

## Sistemas de treliças espaciais planas de dupla superficie para cobrir grandes vãos

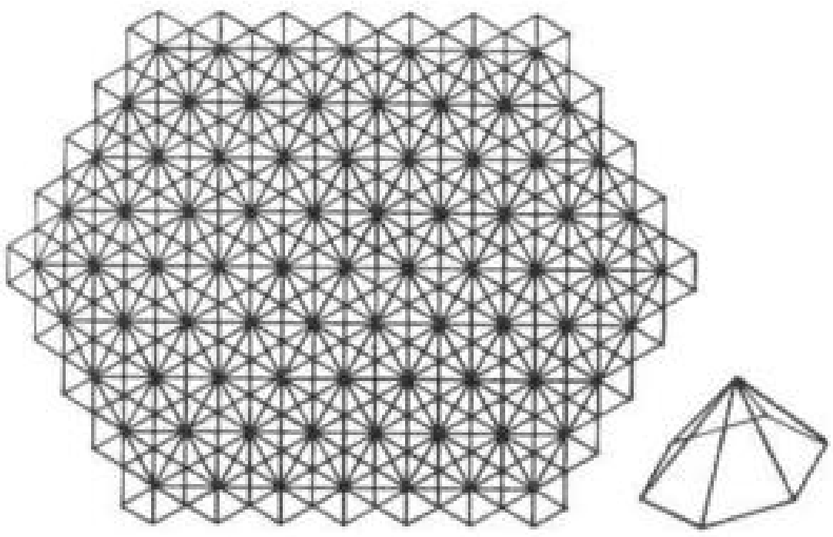


Principio del sistema: semioctaedro sobre retícula cuadrada
Princípio do sistema: semi-octaedros em malha quadrada

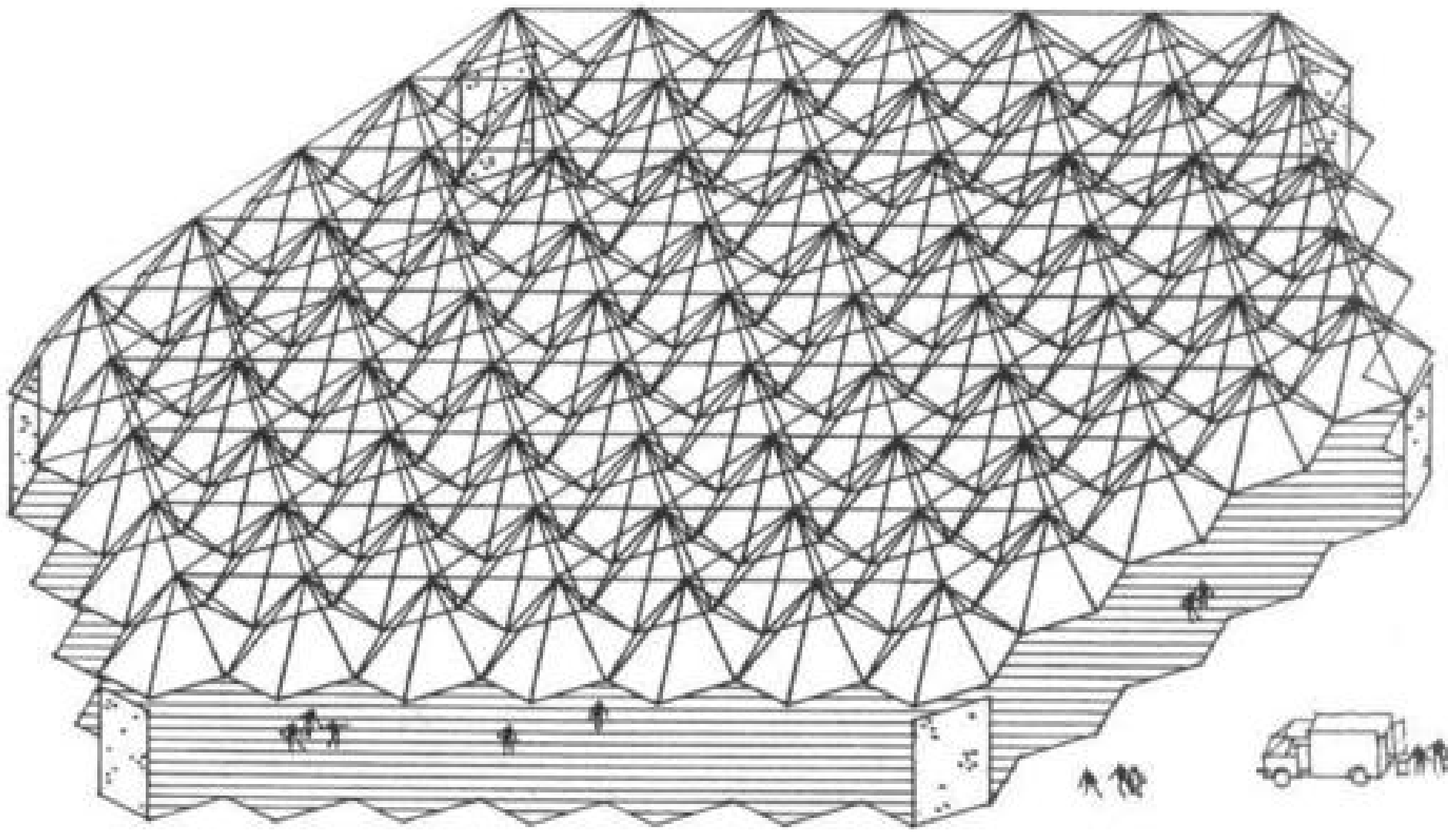




Principio del sistema: tetraedro sobre retícula triangular
Princípio do sistema: tetraedros em malha triangular

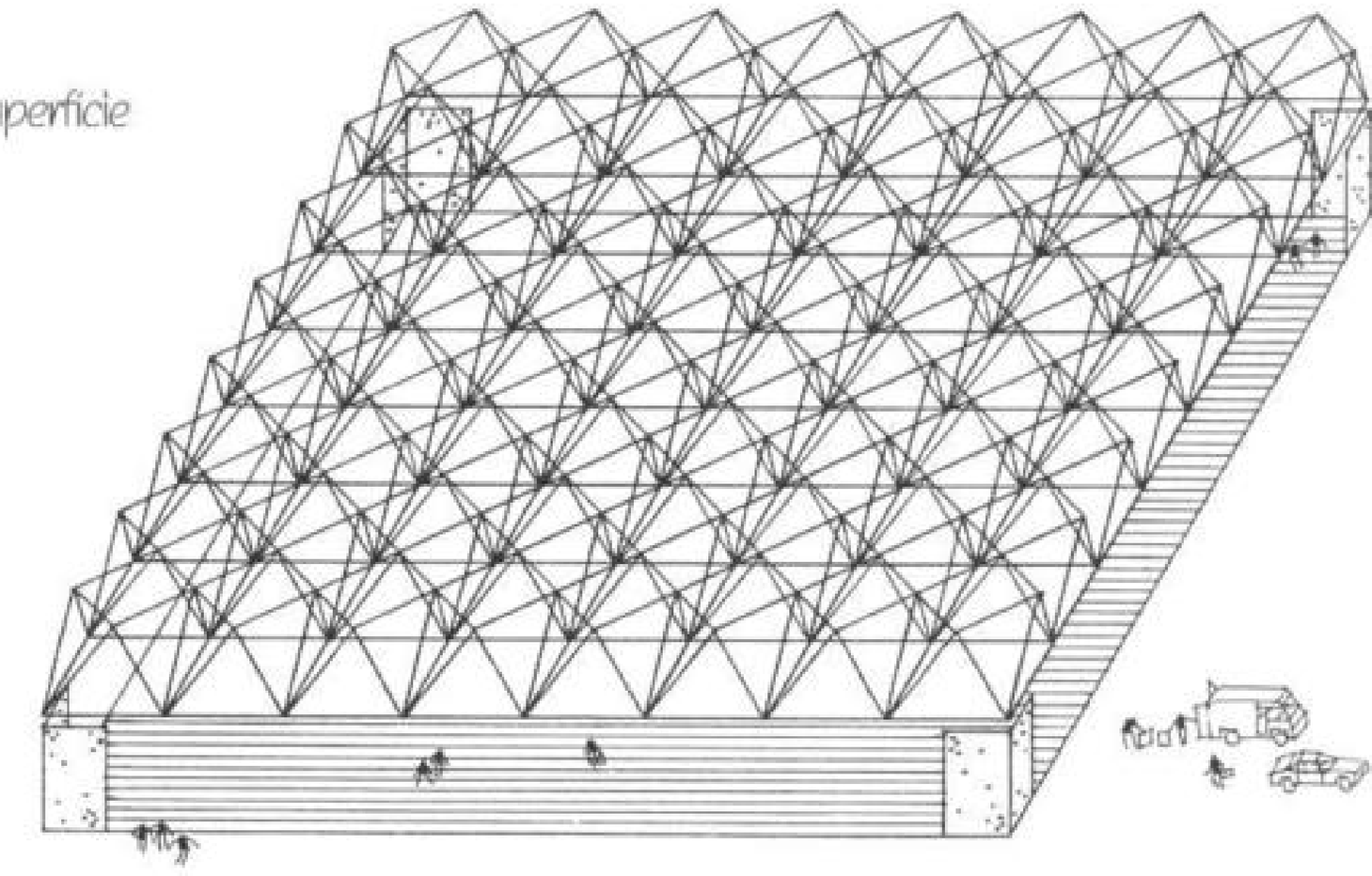


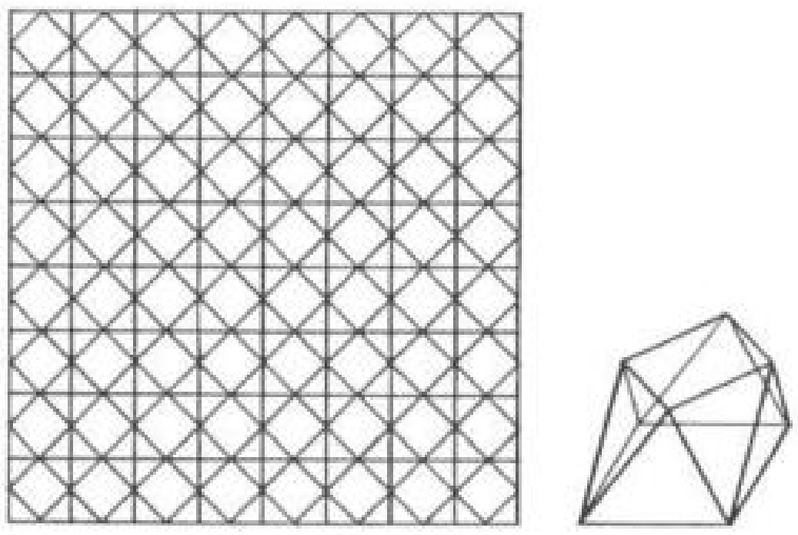
Principio del sistema: pirámide hexagonal sobre retícula en forma de panal
Princípio do sistema: pirâmide hexagonal em favo



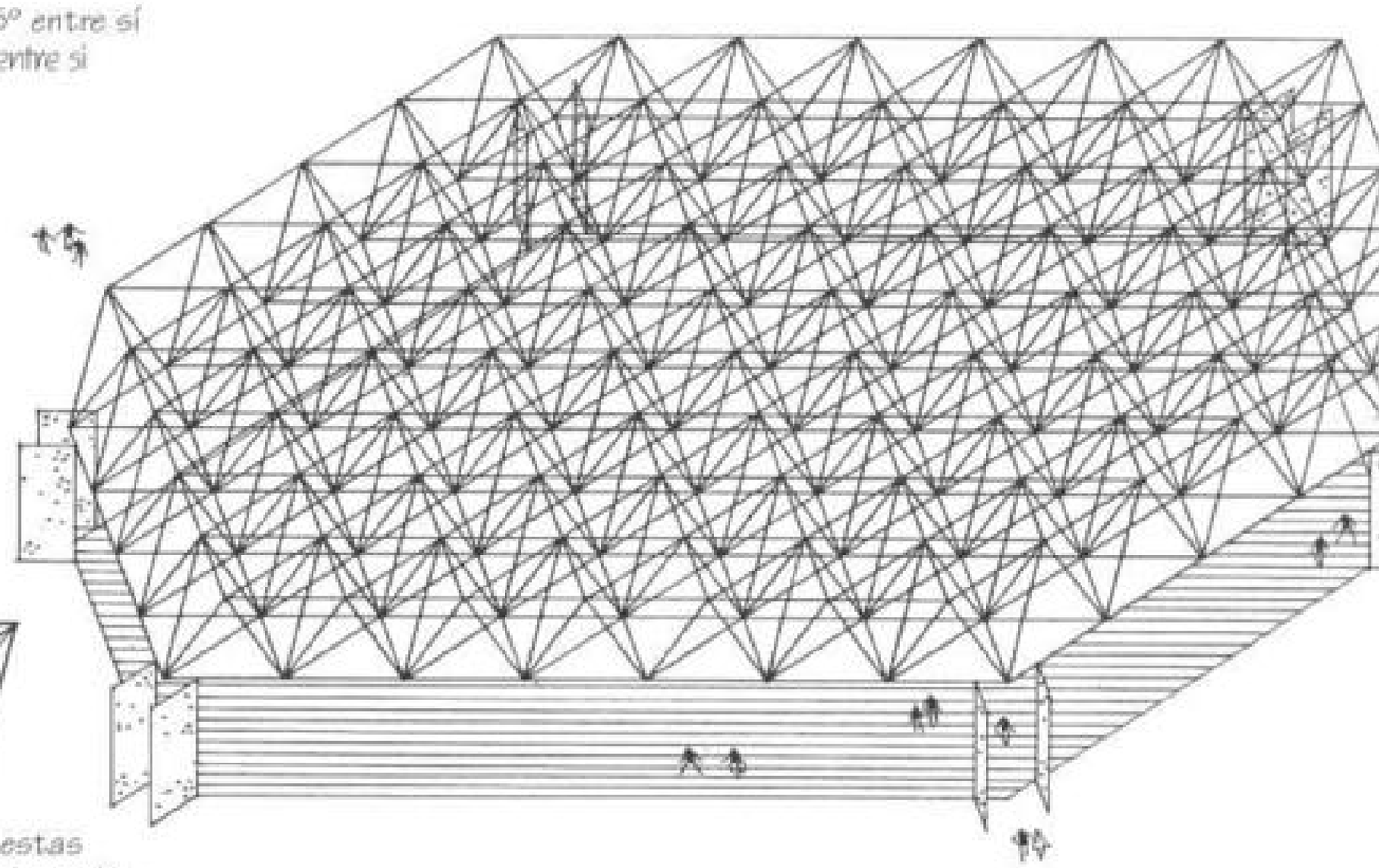
Sistemas de mallas espaciales de dos capas para grandes luces

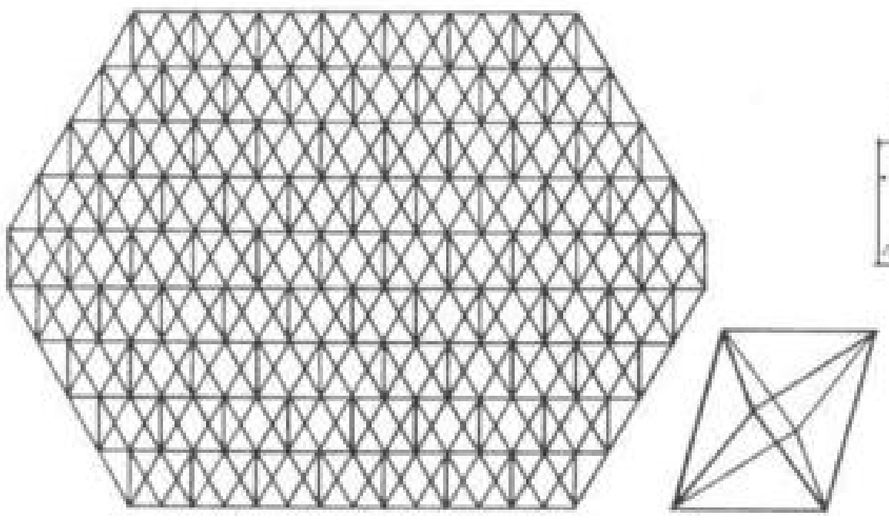
Sistemas de treliças espaciais planas de dupla superfície para cobrir grandes vãos



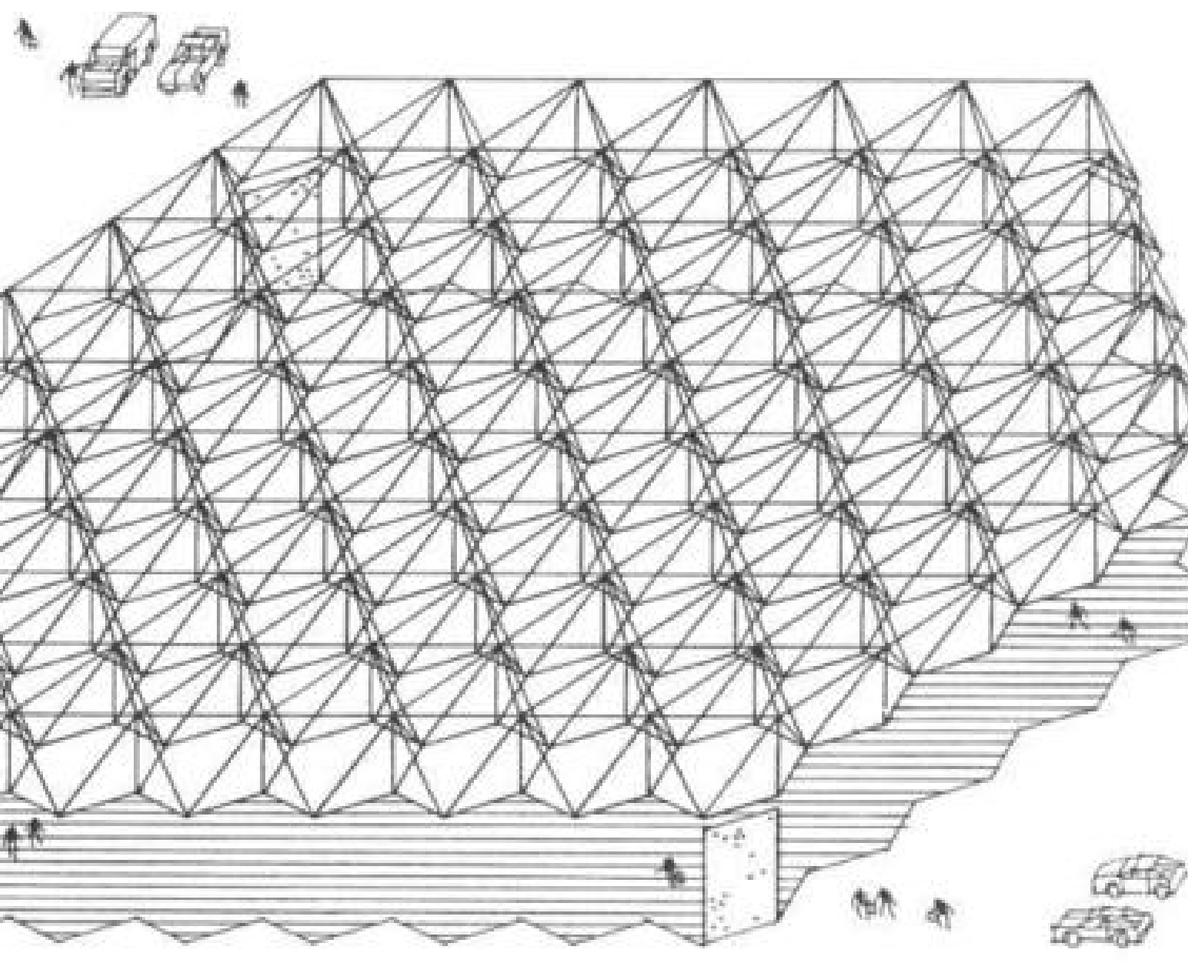


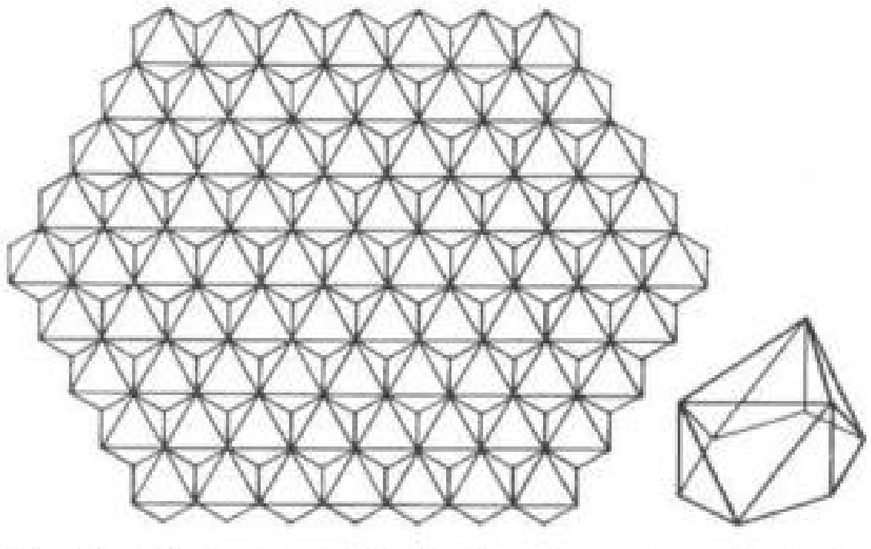
Principio del sistema: dos retículas cuadradas giradas 45° entre sí
Princípio do sistema: duas malhas quadradas giradas em 45° entre si





Principio del sistema: dos retículas triangulares contrapuestas
Princípio do sistema: composto de duas malhas triangulares contrapostas

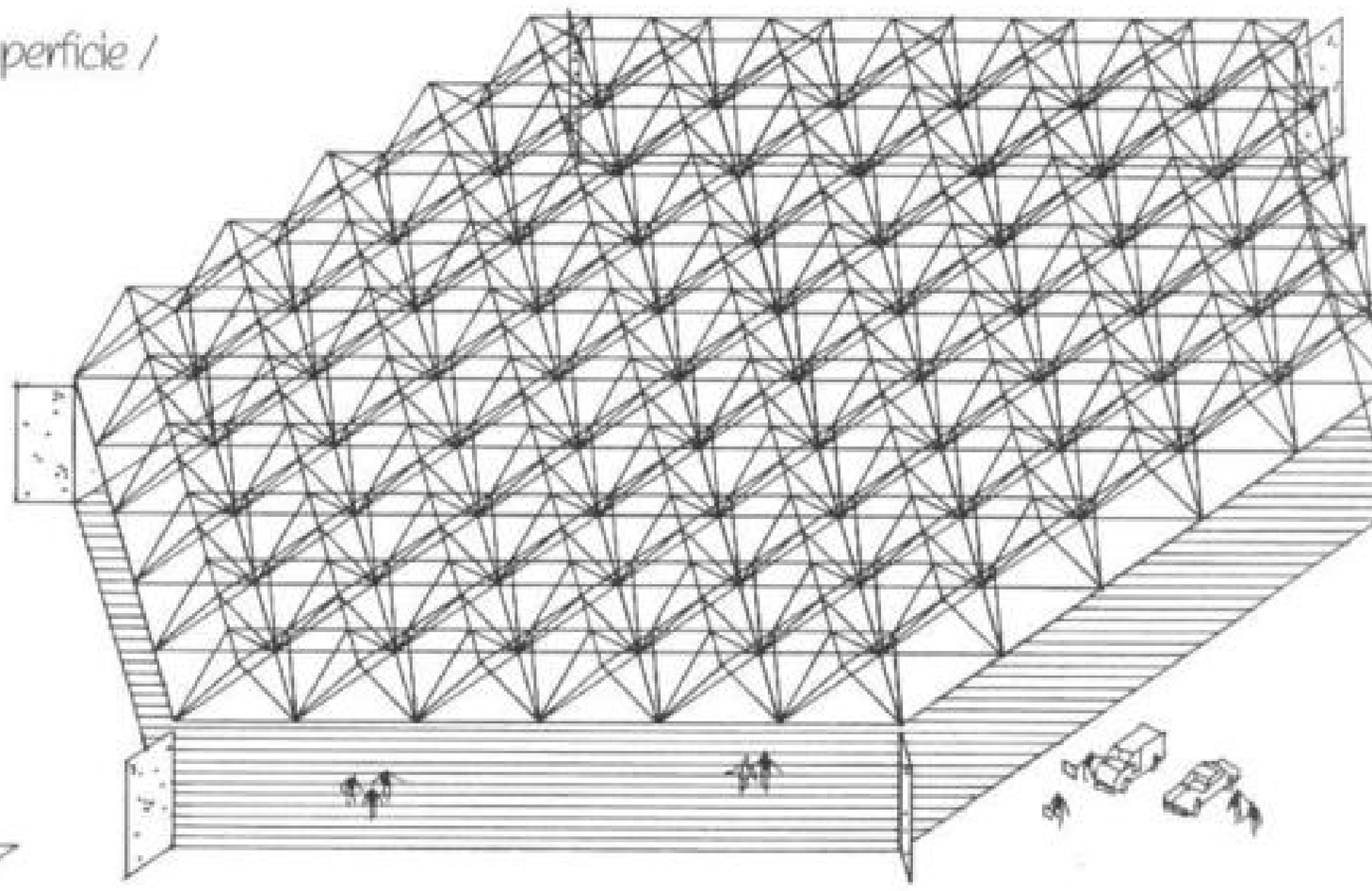


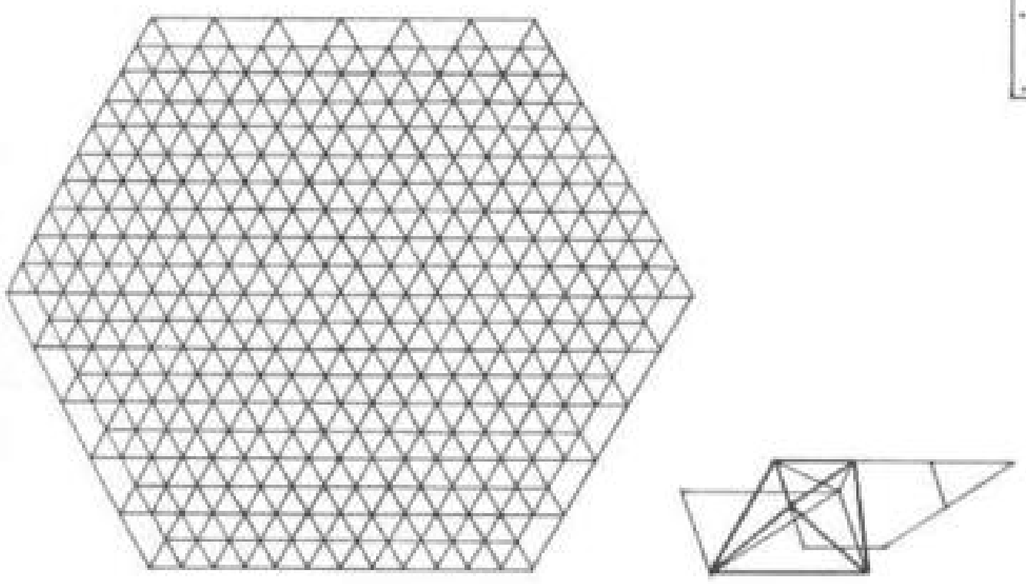


Principio del sistema: retícula triangular sobre retícula hexagonal
Princípio do sistema: malha triangular sobre malha hexagonal

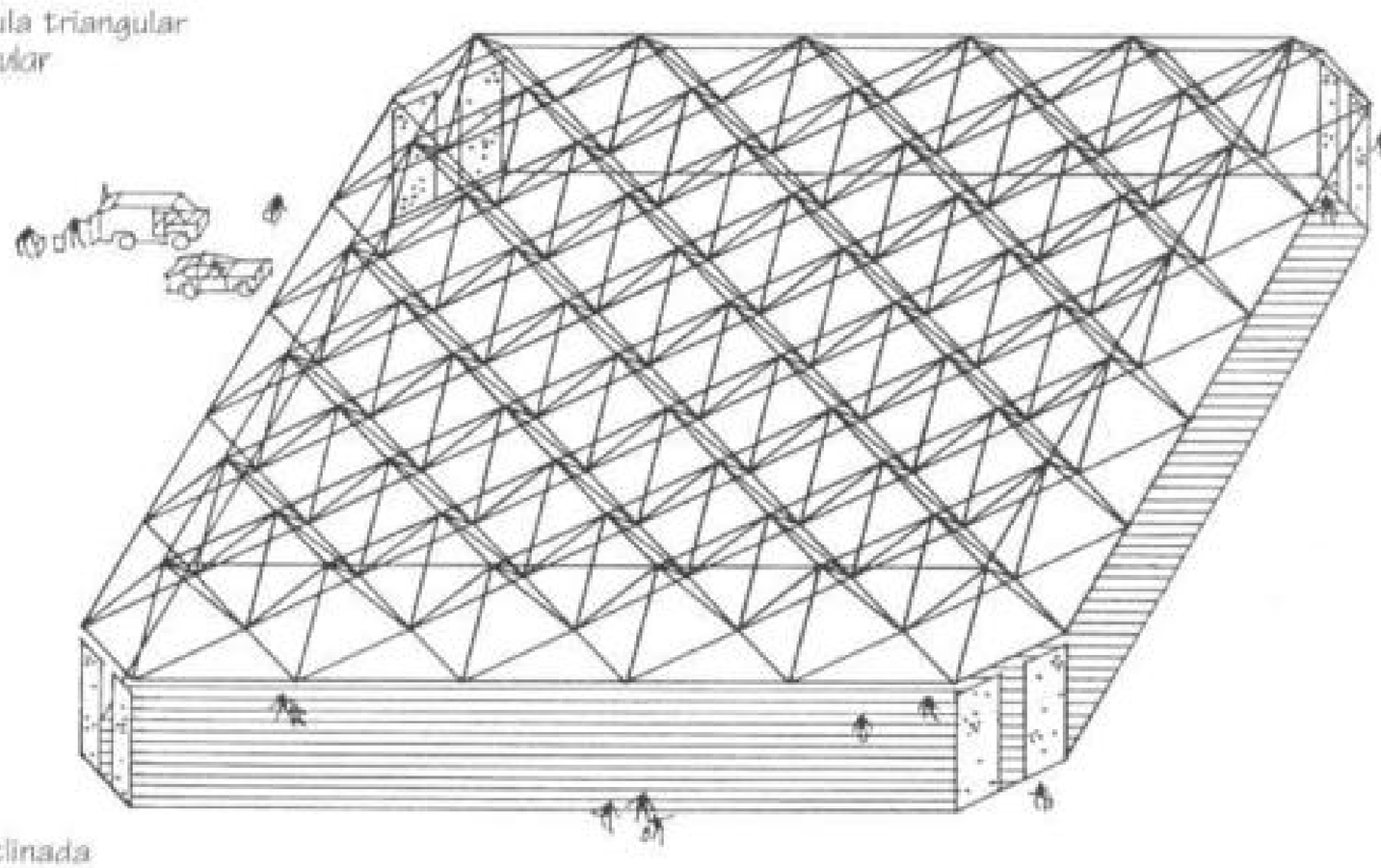
## Sistemas de mallas espaciales de dos capas para grandes luces / tipos especiales

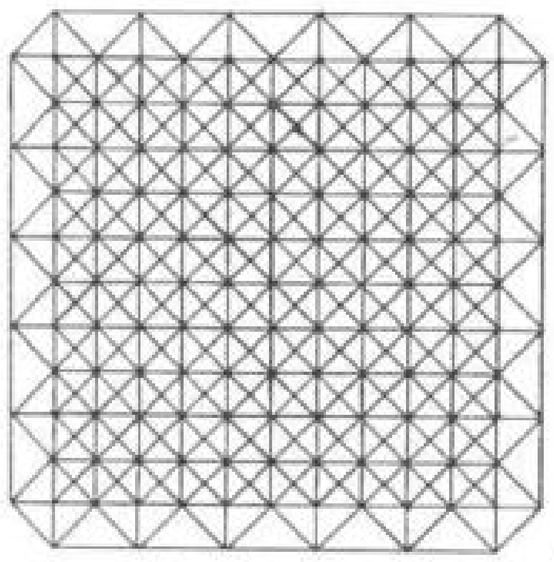
## Sistemas de treliças espaciais planas de dupla superfície / tipos especiais para cobrir grandes vãos



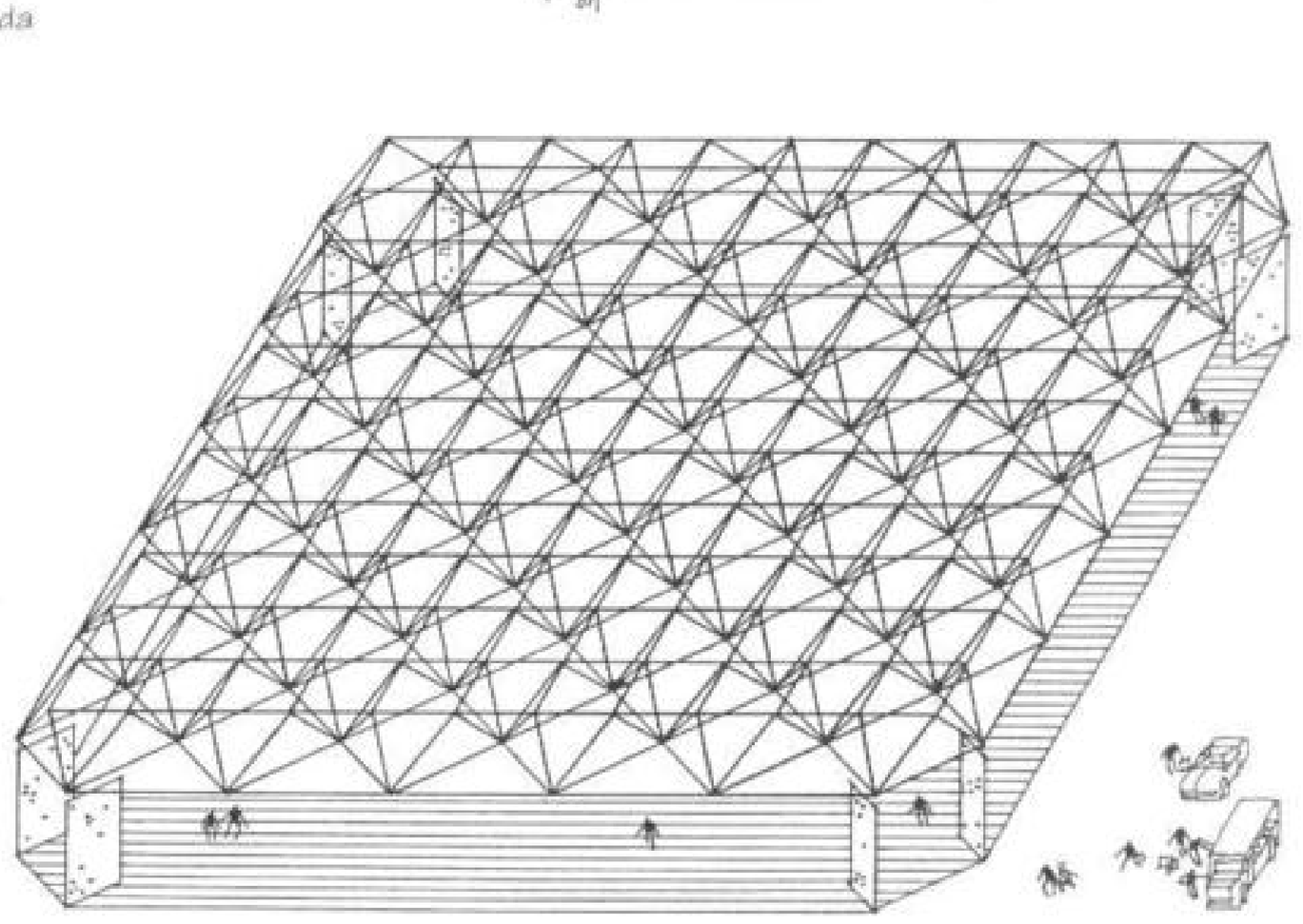


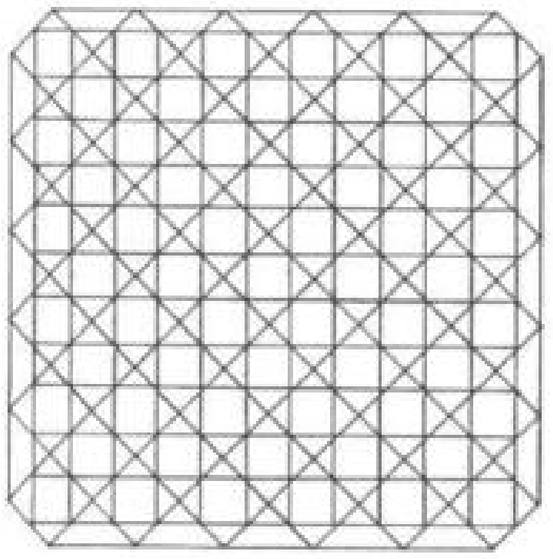
Principio del sistema: retícula triangular / hexagonal sobre retícula triangular
Princípio do sistema: malha triangular / hexagonal sobre malha triangular





Principio del sistema: semioctaedros sobre retícula cuadrada inclinada
Princípio do sistema: semi-octaedros sobre malha quadrada oblíqua

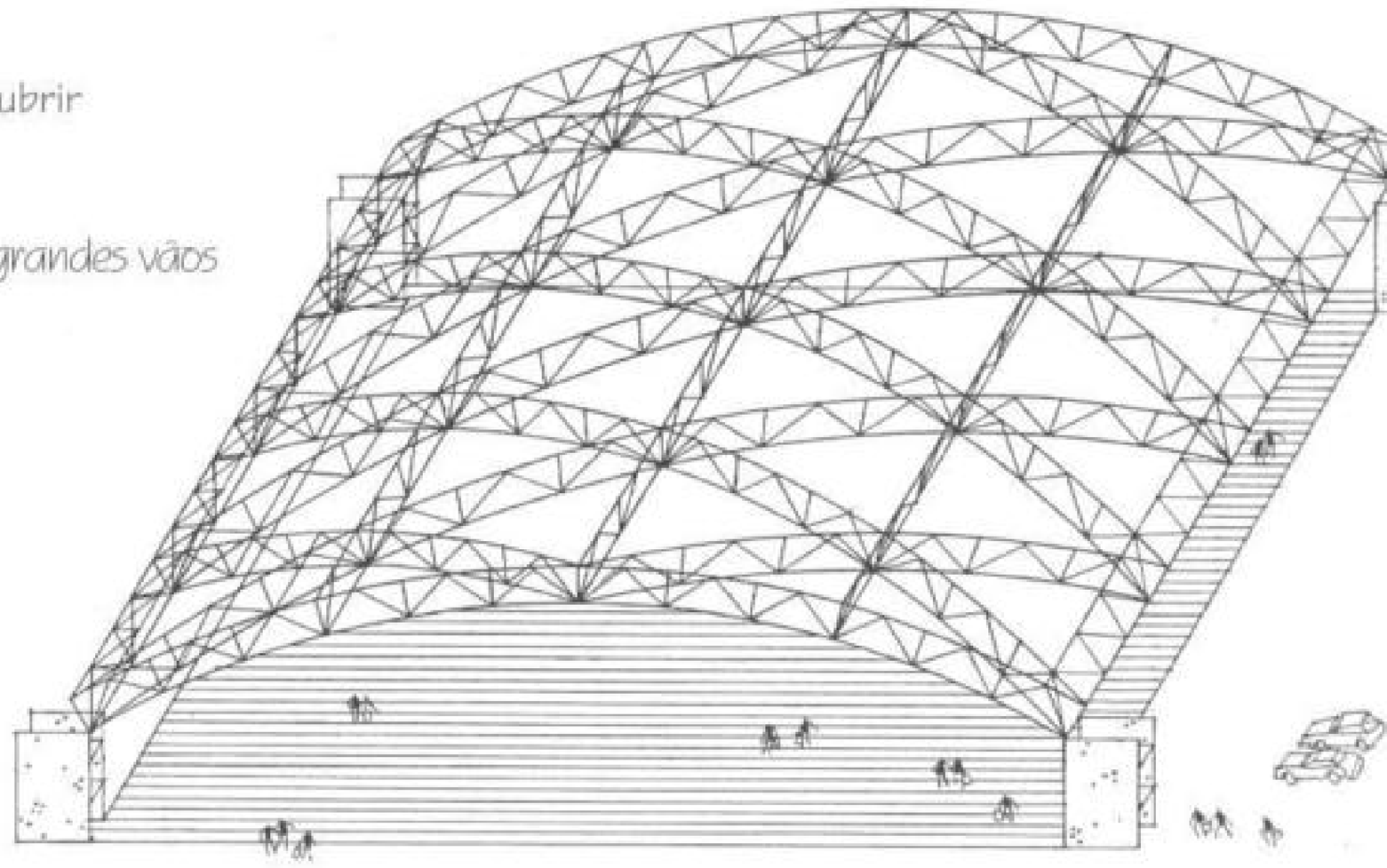


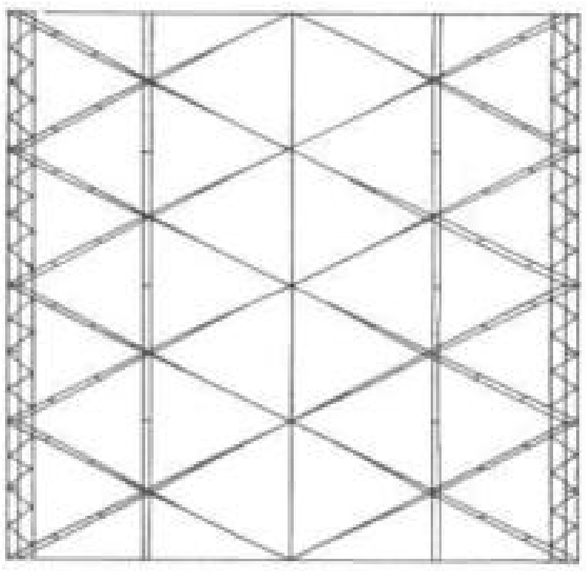


Principio del sistema: semi / cubooctaedro sobre retícula cuadrada inclinada
Princípio do sistema: semi-cubo-octaedro sobre malha quadrada oblíqua

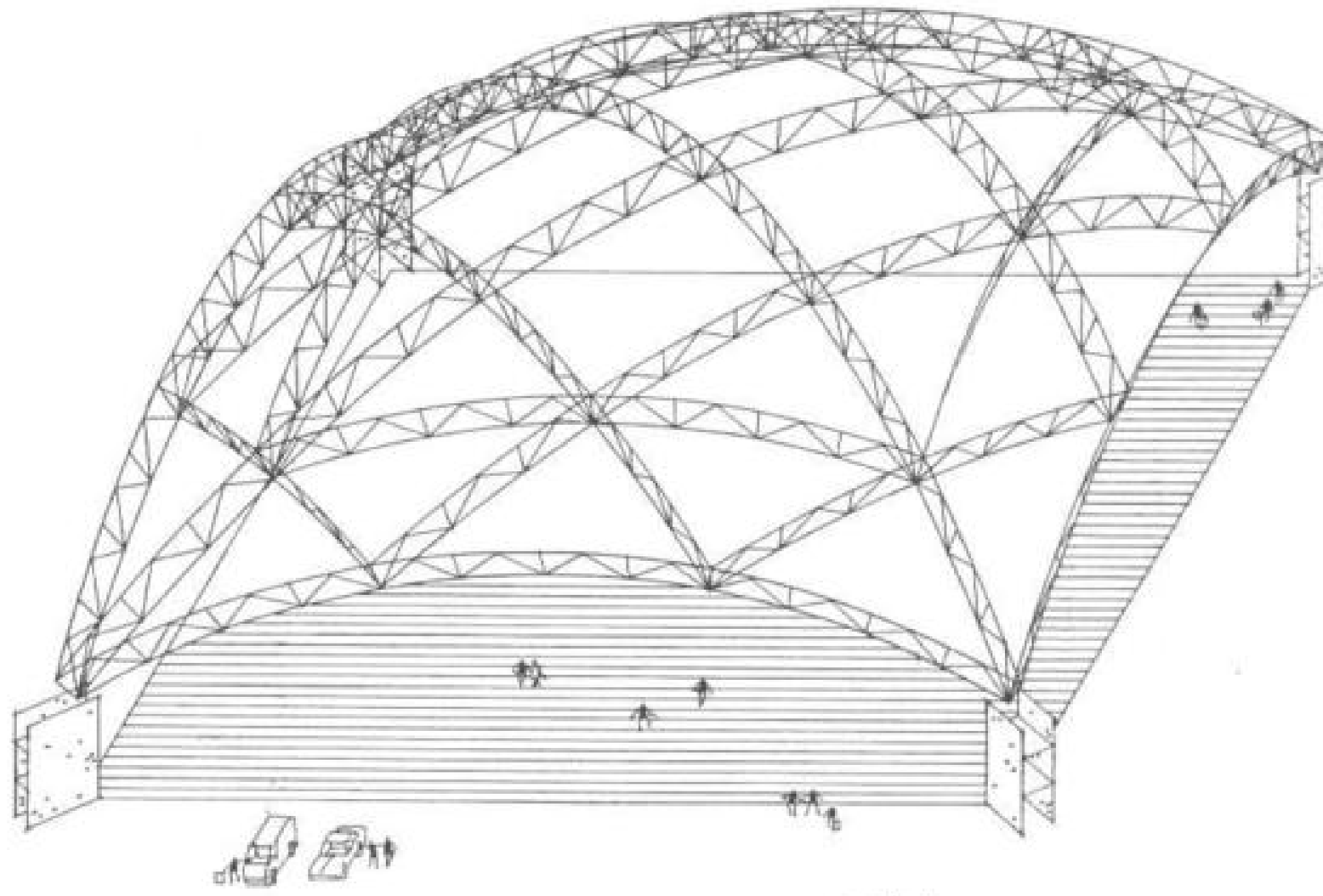
Intersección de arcos en celosía para cubrir grandes luces

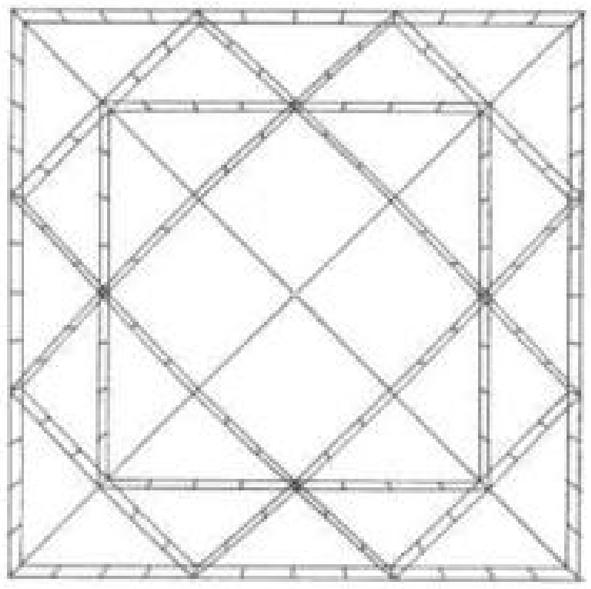
Interseção de arcos de treliça para cobrir grandes vãos



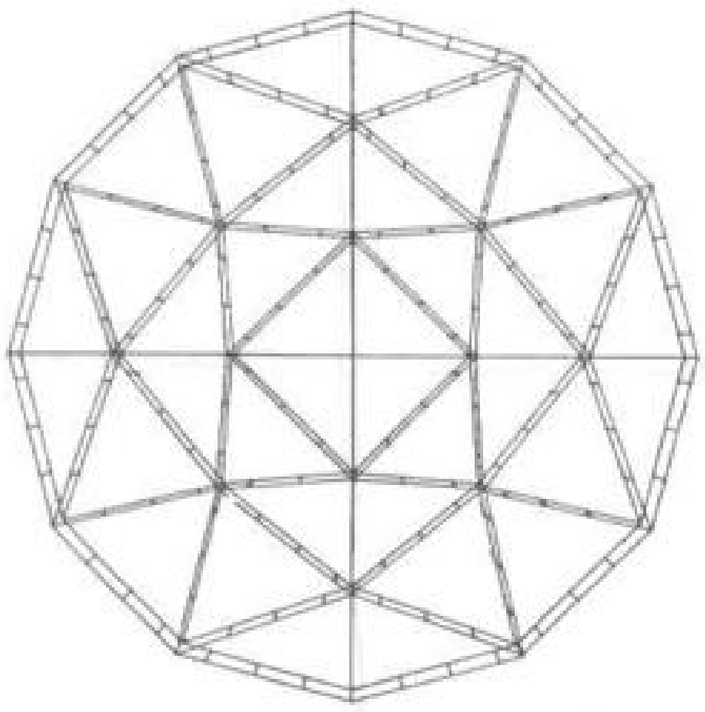


Retícula oblicua para forma de sección cilíndrica
Malha oblíqua para forma circular cilíndrica

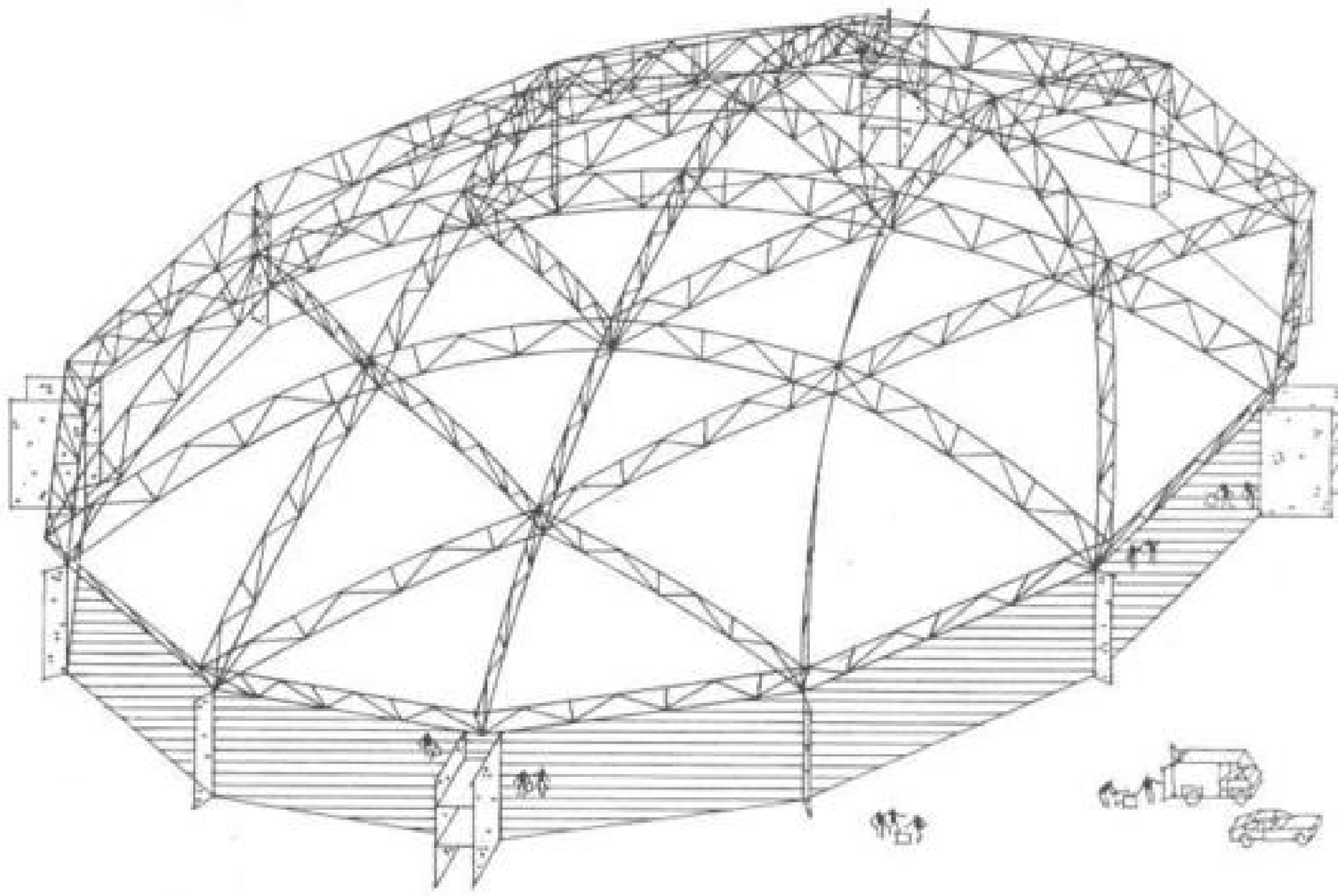




Retícula a 45° para forma sinclástica
Malha em 45° para forma sinclástica



Retícula triangular para forma esférica
Malha triangular para forma esférica

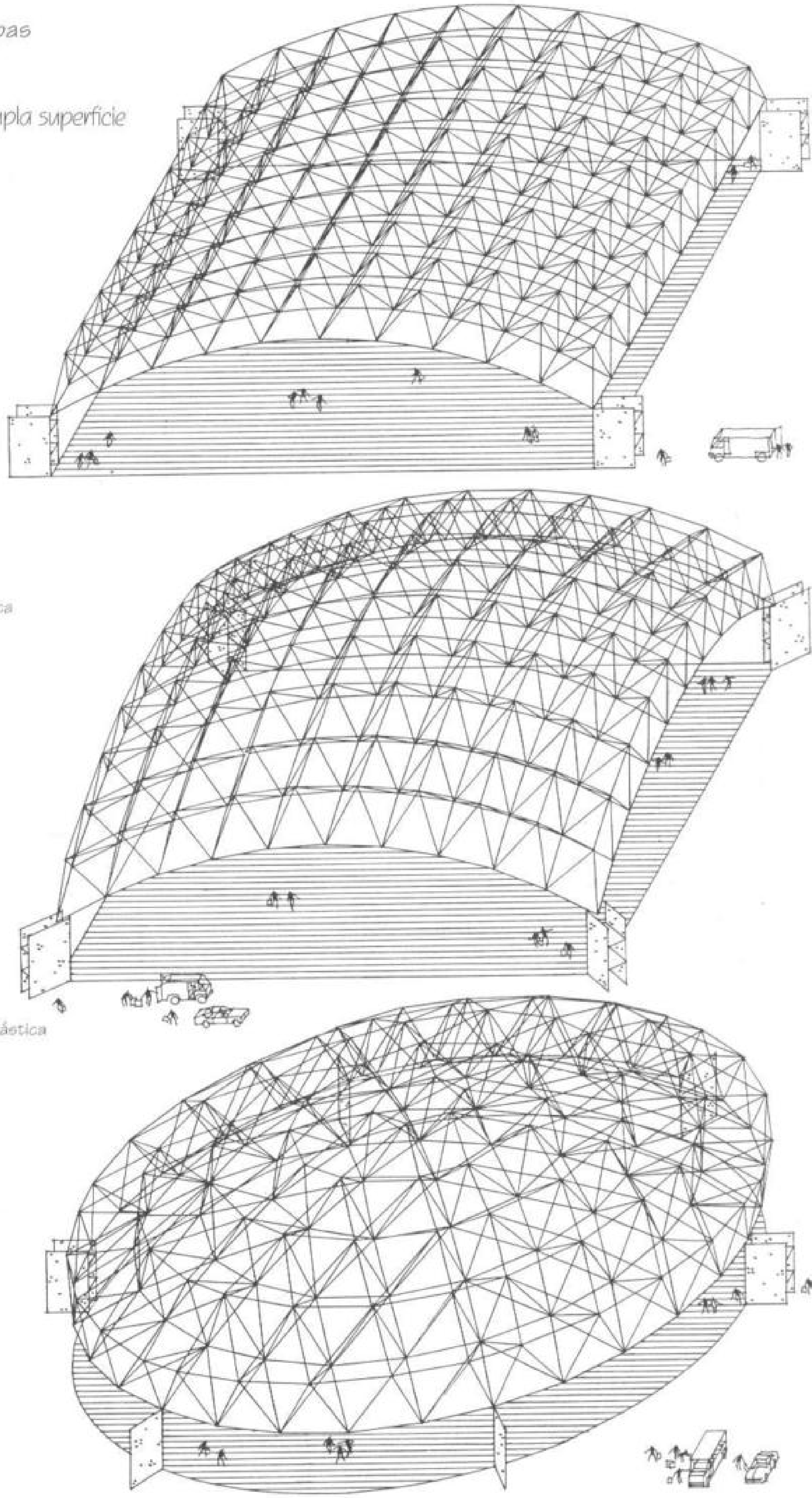


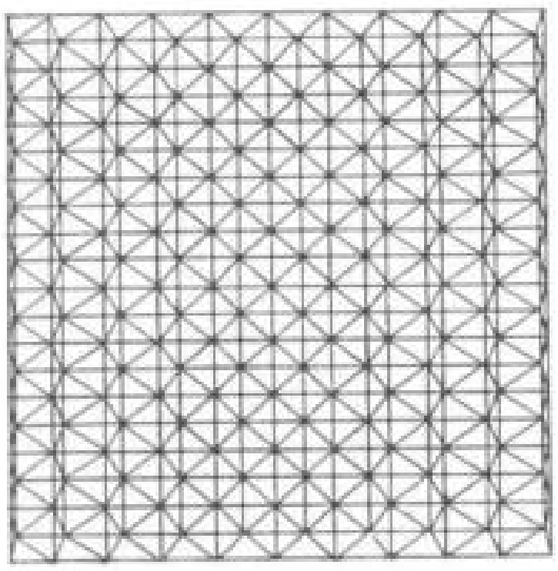
# Vector activo 2

## Sistemas de estructuras de

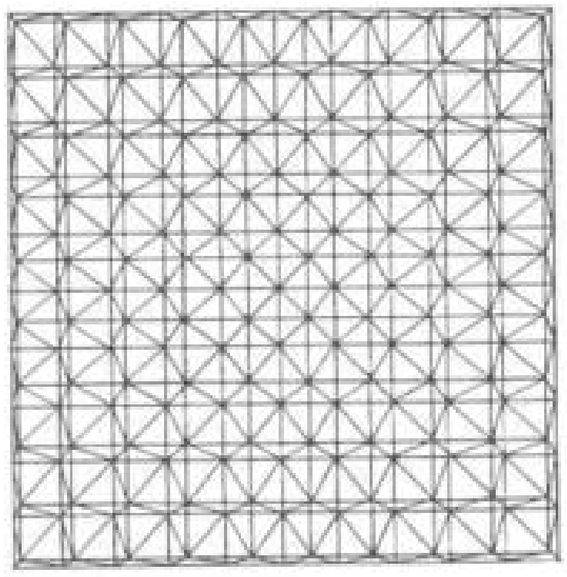
Mallas curvadas espaciales de dos capas
para cubrir grandes luces

Sistemas de treliças espaciais curvas de dupla superfície
para cobrir grandes vãos

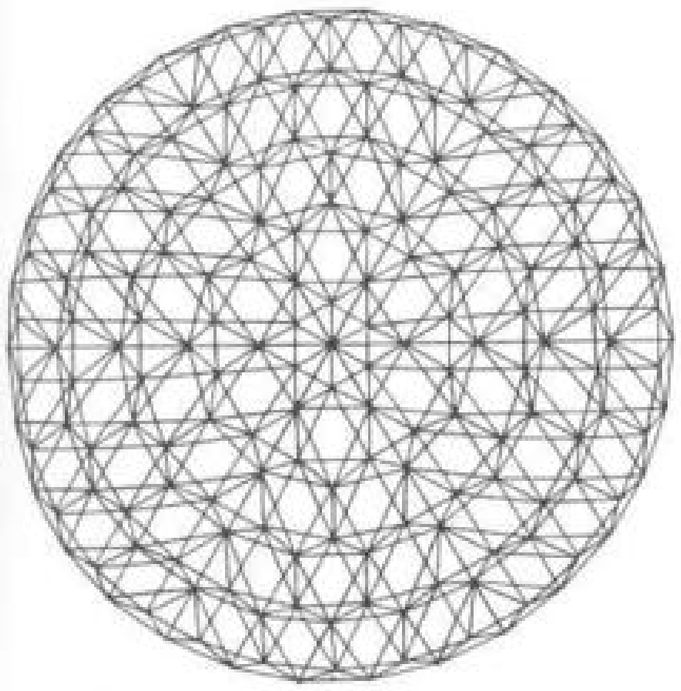




Base de semioctaedro para formas de sección cilíndrica
Base semi-octaédrica para forma circular cilíndrica



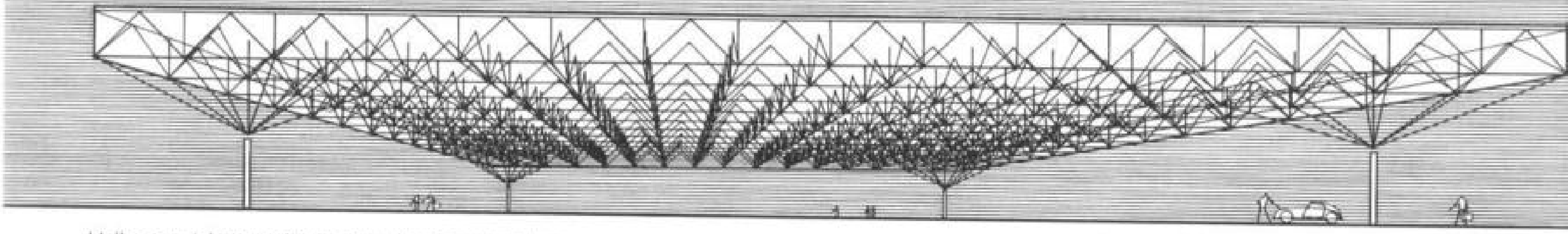
Base de semioctaedro para formas de traslación sinclástica
Base semi-octaédrica para forma de translação sinclástica



Base de tetraedro para forma esférica
Base tetraédrica para forma esférica

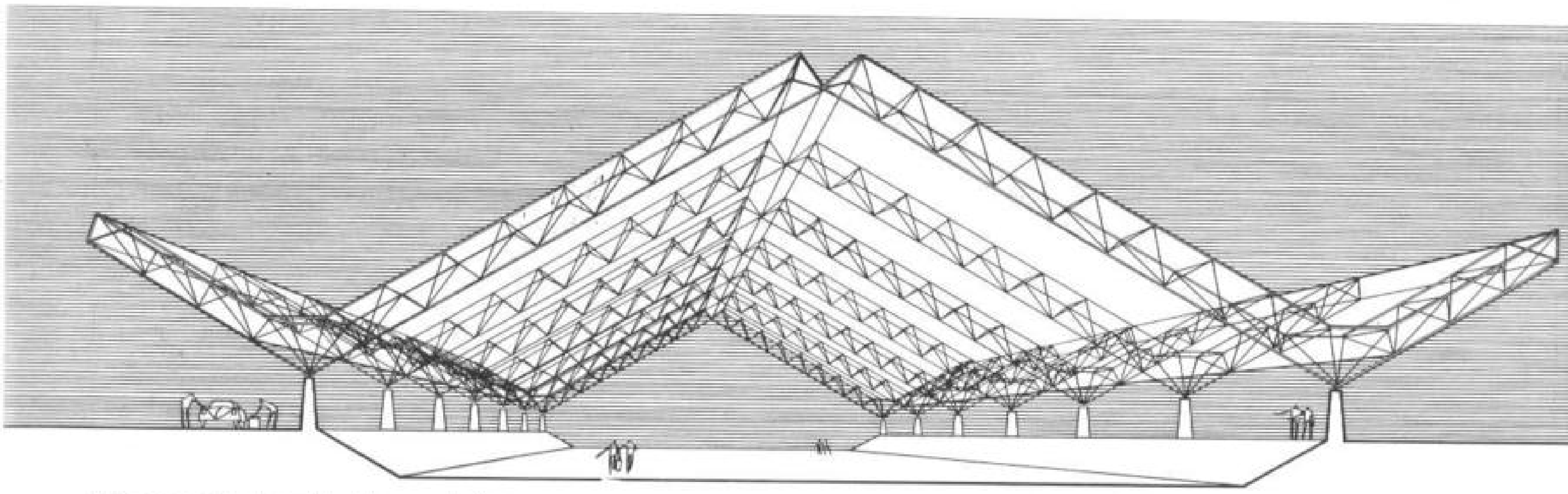
Aplicación de mallas espaciales para construcciones de grandes luces

Aplicação das treliças espaciais em estruturas de grandes vãos



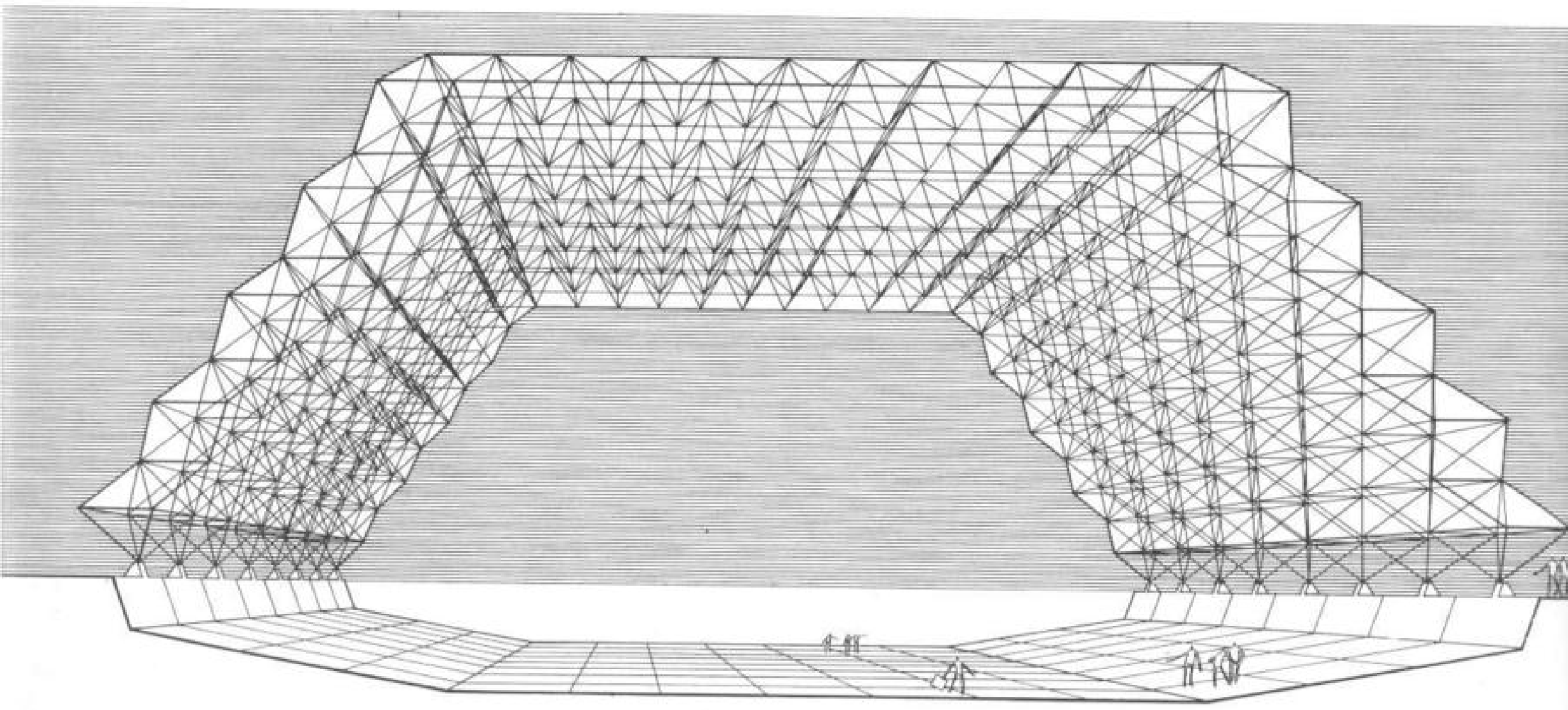
Malla espacial en un plano para cubierta de gran luz

Treliça espacial plana para cobertura de grandes vãos



Malla espacial lineal triarticulada con voladizo

Treliça espacial linear triarticulada para pórtico com balanços

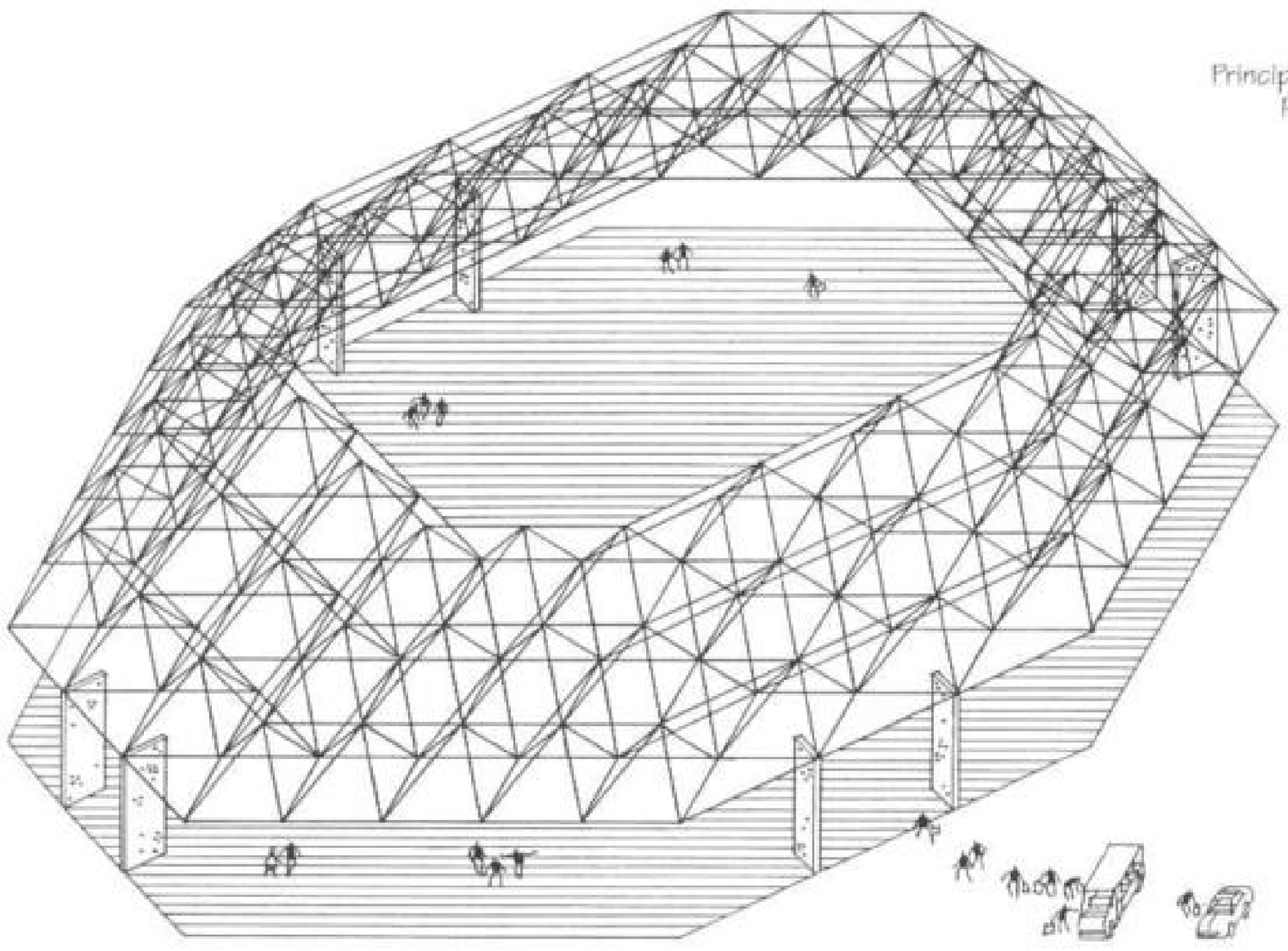


Malla espacial en un plano para cerramiento superior y lateral

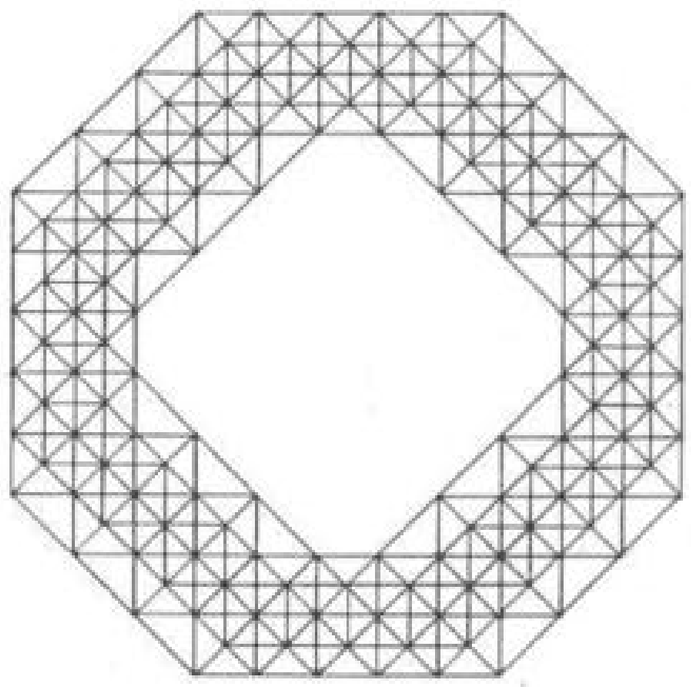
Treliça espacial plana para estrutura de cobertura/parede inteiriça

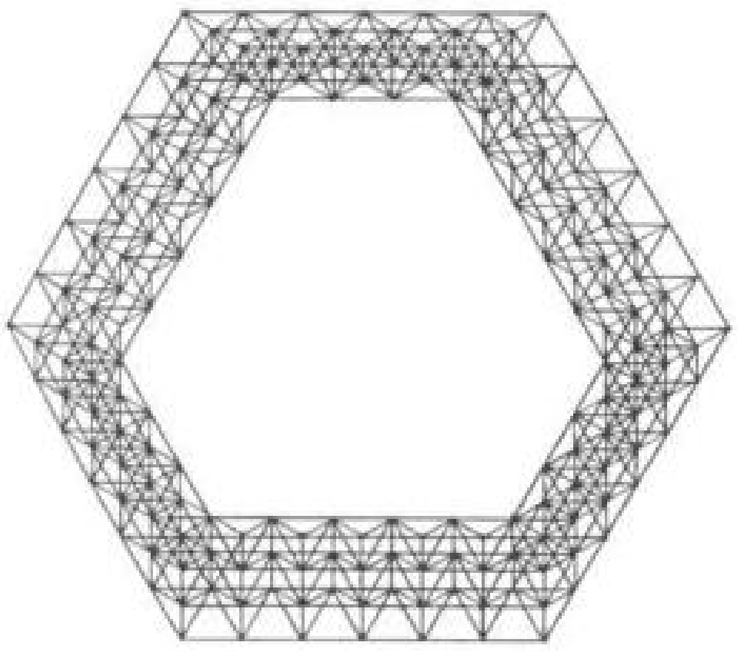
Planteamientos de diseño con sistemas de mallas espaciales / retícula espacial de 5 capas en disposición anular

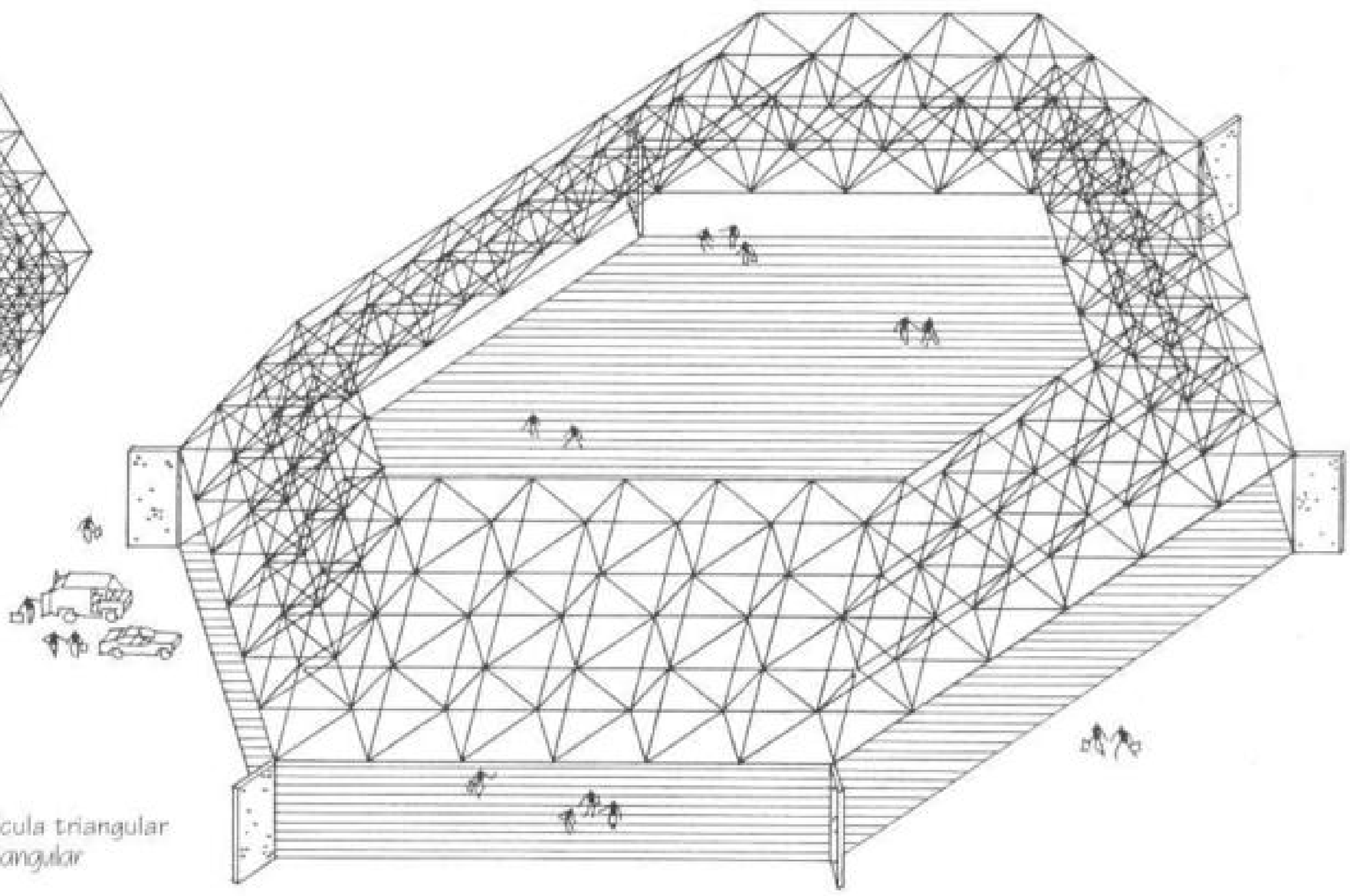
Aproximações de potencial de desenho nos sistemas de treliças espaciais / retícula de 5 capas em disposição anular



Principio de sistema: semioctaedro sobre retícula cuadrada
Princípio do sistema: semi-octaedro sobre malha quadrada







Principio del sistema: tetraedro sobre retícula triangular
Princípio do sistema: tetraedro sobre malha triangular

# Sistemas de estructuras de sección activa
# Sistemas estruturais de seção-ativa

# 3

# Sección activa 3

## Sistemas de estructuras de

Los elementos lineales, rectos y de longitud fija son medios geométricos para definir planos y establecer relaciones tridimensionales mediante su situación en el espacio.

Los elementos lineales rectos pueden determinar ejes y dimensiones: longitud, altura y profundidad. Debido a esta característica, los elementos lineales son un requisito previo para delimitar geométricamente un espacio tridimensional.

Los elementos lineales rectos pueden cumplir funciones estáticas si poseen resistencia material. En el caso de esfuerzos de compresión pueden emplearse como barras a compresión y en el caso de esfuerzos de tracción como barras a tracción. Si además son resistentes a la flexión se pueden emplear como vigas lineales.

Las vigas lineales son elementos de construcción rectilíneos y resistentes a flexión que no sólo absorben fuerzas en la dirección de su eje, sino que también pueden desviar fuerzas perpendiculares a su eje mediante tensiones internas en su sección y transmitirlas en la dirección de su eje hasta los extremos. Las vigas lineales son el elemento básico de los sistemas de estructuras de sección activa.

El prototipo de los sistemas de estructuras de sección activa es la viga lineal sobre dos apoyos. A través del material de su sección desvía las fuerzas noventa grados y las transmite a los apoyos.

La viga lineal apoyada es un símbolo del conflicto entre direcciones que se ha de solucionar al proyectar una estructura: dinámica vertical de las cargas frente a la dinámica horizontal del espacio a utilizar. La viga lineal se enfrenta a esta colisión entre la ley de la naturaleza y la voluntad humana de manera directa y con su masa.

La viga lineal es el elemento estructural más empleado en la construcción gracias a la característica de transmitir lateralmente las cargas verticales, manteniendo la delimitación horizontal óptima para crear espacios tridimensionales.

Mediante uniones rígidas se pueden unir vigas y pilares aislados para formar un sistema global de múltiples elementos, en el que cada componente participa en el mecanismo de resistencia frente a la deformación mediante una curvatura de su eje: sistemas de estructuras de sección activa.

La curvatura del eje central, es decir, la flexión, es la característica del comportamiento de las estructuras de sección activa, provocada en parte por el giro parcial del elemento lineal debido a la presencia de una fuerza externa que no actúa en una sola dirección.

El mecanismo portante de las estructuras de sección activa se compone de la actuación conjunta de esfuerzos de compresión y de tracción en la sección de la viga junto con los esfuerzos cortantes: resistencia a flexión. A consecuencia de la flecha se activa un momento de giro interno que equilibra el momento de giro externo.

La sección de la viga, es decir, la distribución de su masa en relación al eje neutro, es decisiva para el mecanismo resistente de las estructuras de sección activa. Cuanto más alejada esté la masa del eje neutro, mayor será la resistencia a flexión.

Debido a la distribución desigual de las solicitaciones a flexión a lo largo de una viga y a causa de la diferencia resultante en la dimensión de la sección necesaria, las estructuras de sección activa pueden expresar la distribución de las tensiones internas de flexión a través de una variación en la altura de su sección. Por ello, las estructuras de sección activa pueden ser una expresión viva de la lucha por el equilibrio entre el momento de giro interior y exterior.

A través de uniones rígidas con los pilares, no sólo se reduce la flecha vertical, sino que también se crea un mecanismo para desviar las fuerzas horizontales. La continuidad de la rigidez en dos o en tres dimensiones es la segunda característica de las estructuras de sección activa.

Las estructuras de sección activa han llevado hasta las últimas consecuencias el mecanismo de la continuidad en forma de vigas continuas, pórticos articulados, pórticos rígidos, pórticos de varios vanos y pórticos de varias plantas. Con estas estructuras se pueden conseguir grandes luces y espacios diáfanos, sin tener que renunciar a las ventajas de la geometría ortogonal.

Las vigas lineales biaxiales de sección activa, ordenadas según una retícula y unidas rígidamente entre sí, activan mecanismos de resistencia adicionales que permiten reducir el canto y la cantidad de material: vigas reticulares.

La densificación de la disposición biaxial de las vigas lineales conduce a la losa. La losa es un elemento plano de sección activa que integra la mecánica de flexión más diversa y por ello presenta una gran eficacia para unas luces determinadas.

Los sistemas estructurales de sección activa poseen, sobre todo, una forma rectangular, tanto en planta como en alzado. La simplicidad de la geometría rectangular para resolver los problemas estáticos y formales es la gran ventaja de las estructuras de sección activa y el motivo de su empleo universal en la construcción.

Los mecanismos portantes de sección activa, debido a la superioridad de la geometría rectangular en la construcción, se pueden emplear como megaestructuras para definir espacios a construir con unidades de otros sistemas estructurales. Por consiguiente, las estructuras de sección activa son aquellas estructuras de rango superior en las que se pueden incorporar otros mecanismos portantes.

El futuro desarrollo de los sistemas portantes de sección activa se enfrentará a la desventaja de la pequeña relación entre peso y luz, no sólo utilizando técnicas de pretensado, sino también sustituyendo la sección maciza de la viga lineal por configuraciones de forma, vector o superficie activas.

El conocimiento de la mecánica de sección activa, de los diferentes procesos que provoca la flexión de elementos lineales, así como sus consecuencias, es imprescindible para el arquitecto, no sólo para proyectar entramados portantes, sino también para el diseño dentro de la geometría rectangular.

Os elementos lineares, retos e fixos em seu comprimento, constituem meios geométricos para definir planos e estabelecer relações tridimensionais por sua posição no espaço.

Os elementos lineares retos podem determinar eixos e dimensões: comprimento, altura e largura. Por essa propriedade, os elementos lineares são requisito prévio para a definição geométrica do espaço tridimensional.

Os elementos lineares retos, se formados por material resistente, podem realizar funções estruturais. Com resistência a compressão, podem ser usados como barras de compressão, e com resistência a tração, como barras de tração. Se, além disso, dispuserem de rigidez a flexão, podem ser usados como vigas.

As vigas são elementos estruturais retos, resistentes a flexão, e que não só são capazes de resistir às forças que atuam na direção de seu eixo, mas também por meio de esforços seccionais, suportar forças perpendiculares a seu eixo e transmiti-las lateralmente ao longo do mesmo até seus extremos. As vigas são elementos básicos dos sistemas estruturais de seção-ativa.

O protótipo de sistemas estruturais de seção-ativa é a viga simplesmente apoiada em suas extremidades. Com a massa de sua seção, a viga muda a direção das forças em 90°, fazendo-as deslocar-se ao longo de seu eixo até as extremidades de apoio.

A viga de apoio é um símbolo do conflito básico de direções, que tem que ser resolvido através do projeto estrutural: a dinâmica vertical da carga contra a dinâmica horizontal do espaço útil. A viga domina esse conflito entre a natureza e a vontade humana de modo bastante simples e através de sua massa.

Por causa de sua capacidade de transferir as cargas lateralmente e ainda manter-se no espaço horizontal, o que é muito conveniente para o fechamento tridimensional do espaço, a viga é o elemento estrutural mais usado na construção de edifícios.

Por meio de conexões rígidas, vigas e colunas separadas podem ser combinadas para formar um sistema coesivo de múltiplos componentes, no qual cada componente, por meio de deflexão de seu eixo, participa do mecanismo resistente à deformação: sistemas estruturais de seção-ativa.

A curva do eixo central, isto é, a flexão, é a característica da ação portante da seção-ativa. Sua causa é a rotação parcial do elemento linear, em virtude das forças externas que não atuam em uma mesma linha de ação.

O mecanismo portante dos sistemas estruturais de seção-ativa consiste na ação combinada de esforços de compressão e tração no interior da viga, em conjunção com os esforços de cisalhamento: resistência à flexão. Por causa da deformação pela flexão, um momento interno de rotação é ativado, que equilibra o momento de rotação externo.

A seção da viga, isto é, a distribuição de sua massa com relação ao eixo neutro, é decisiva para o mecanismo resistente de sistemas estruturais de seção-ativa. Quanto mais distante do eixo neutro estiver a massa, maior será a resistência à flexão.

Em virtude da distribuição desigual dos esforços de flexão ao longo da viga, e por causa também da desigualdade das exigências resultantes para o dimensionamento da seção cruzada, os sistemas estruturais de seção-ativa podem exprimir a variação dos esforços de flexão internos por meio de mudanças de altura em sua seção.

Os sistemas estruturais de seção-ativa podem, portanto, constituir uma expressão viva da luta pelo equilíbrio entre os momentos de rotação externos e internos.

Através de conexão rígida com apoios, não somente a curva vertical é reduzida, como também é estabelecido um mecanismo para resistir às forças horizontais. A rigidez contínua em duas ou três dimensões é a segunda característica dos sistemas estruturais de seção-ativa.

Como viga contínua, pórtico articulado, pórtico rígido, pórtico de vãos múltiplos e pórtico de vários pavimentos, as estruturas de seção-ativa trouxeram à expressão máxima os mecanismos da continuidade. Por meio desses sistemas, é possível conseguir grandes vãos e obter espaço livre sem auxílio de suportes, e sem abandonar as vantagens da geometria retangular.

Os elementos lineares da seção-ativa, dispostos em forma de retícula biaxial e rigidamente conectados entre si ativam os mecanismos de resistência adicionais, permitindo a redução tanto da altura da construção quanto da massa material: vigas reticulares.

A densificação da disposição biaxial de vigas conduz à laje estrutural. A laje estrutural é um elemento plano de seção-ativa que integra os mais diversos mecanismos de flexão, e, por conseqüência, apresenta grande eficácia para um certo limite de vão.

Os sistemas estruturais de seção-ativa possuem, predominantemente, uma forma retangular em plano e seção. A simplicidade da geometria retangular para resolver problemas estruturais e estéticos é uma vantagem dos sistemas estruturais de seção-ativa e a razão de sua aplicação universal na edificação.

Em virtude da superioridade da geometria retangular na construção, os mecanismos de estrutura de seção-ativa definem também superestruturas para desempenho com unidades extraídas de outros sistemas estruturais. Os sistemas de estrutura de seção-ativa são, portanto, a superestrutura na qual todos os outros mecanismos estruturais podem ser postos em ação.

O futuro desenvolvimento dos sistemas estruturais de seção-ativa refutará os inconvenientes da relação peso/vão, não apenas pelo progressivo emprego das técnicas de protensão, como também pela substituição da seção de viga maciça por formas ativas, vetores-ativos ou superfícies-ativas.

O conhecimento dos mecanismos de seção-ativa, das múltiplas ações e suas conseqüências, presentes na flexão de elementos lineares, deve, portanto, ser considerado básico para o arquiteto, não apenas no planejamento do esqueleto estrutural, mas também no projeto da geometria retangular como um todo.

# Sección activa 3

## Sistemas de estructuras de

Definición / Definição

ESTRUCTURAS DE SECCIÓN ACTIVA
son sistemas estructurales de elementos lineales rígidos y sólidos –incluyendo su forma compacta de losa– en los que la transmisión de cargas se efectúa por MOBILIZACIÓN DE FUERZAS SECCIONALES

SISTEMAS ESTRUTURAIS DE SEÇÃO-ATIVA são sistemas de estrutura de elementos lineares retos, sólidos e rígidos –incluindo suas formas compactas como laje– nos quais a redistribuição de forças é efetivada através da MOBILIZAÇÃO DAS FORÇAS SECIONAIS

Fuerzas / Forças

Los componentes de la estructura están sometidos en primer lugar a flexión, es decir, a esfuerzos internos de compresión, tracción y cortantes: ESTRUCTURAS EN ESTADO DE FLEXIÓN

Os membros do sistema são principalmente submetidos à flexão, isto é, à compressão linear, tensão e cisalhamento: SISTEMAS DE FLEXÃO

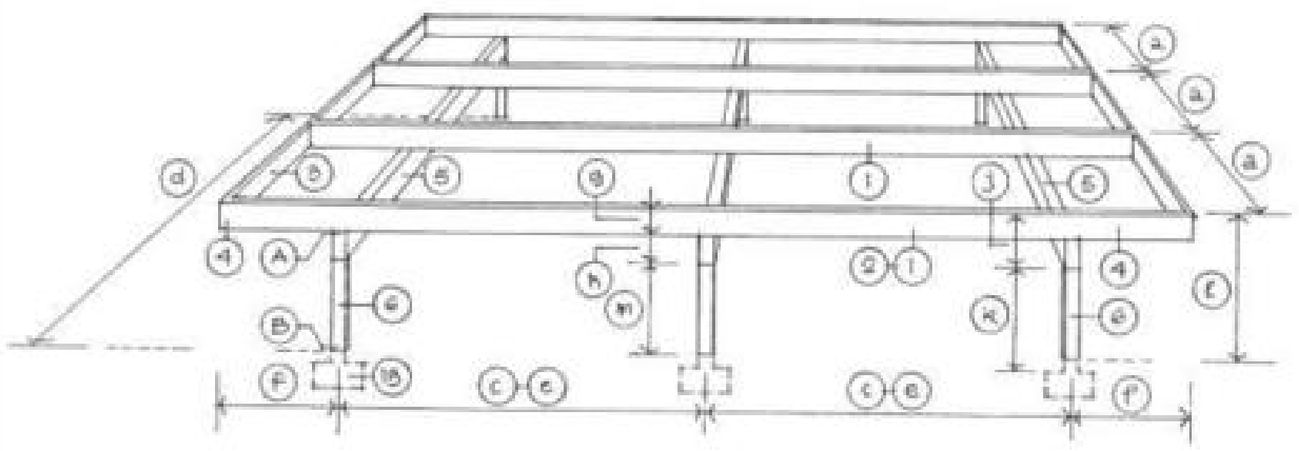
Características

Las características estructurales más típicas son:
PERFIL DE LA SECCION y CONTINUIDAD DE LA MASA

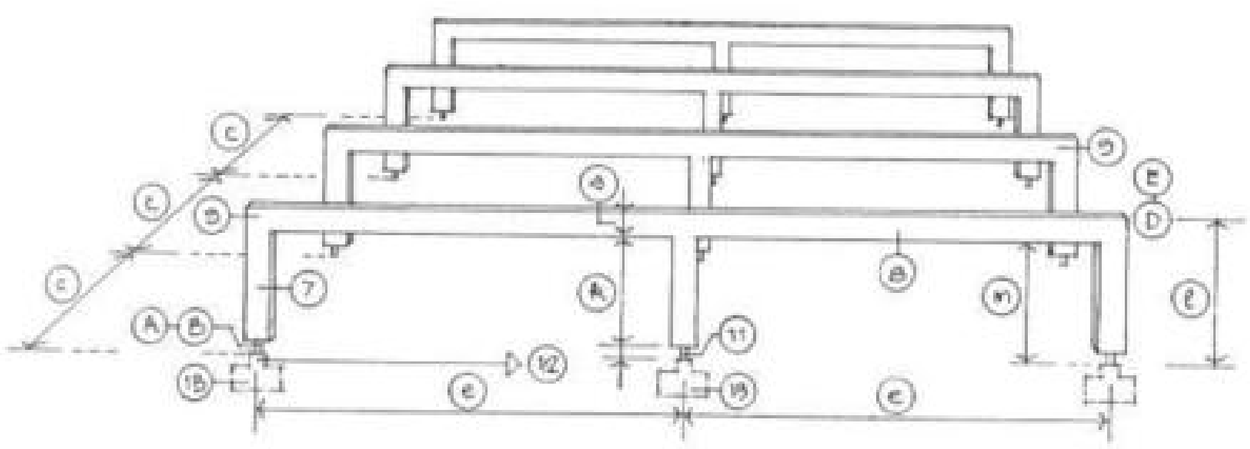
As características típicas destas estruturas são:
PERFIL SECIONAL e CONTINUIDADE DE MASSA

## Componentes y denominaciones / Componentes e denominações

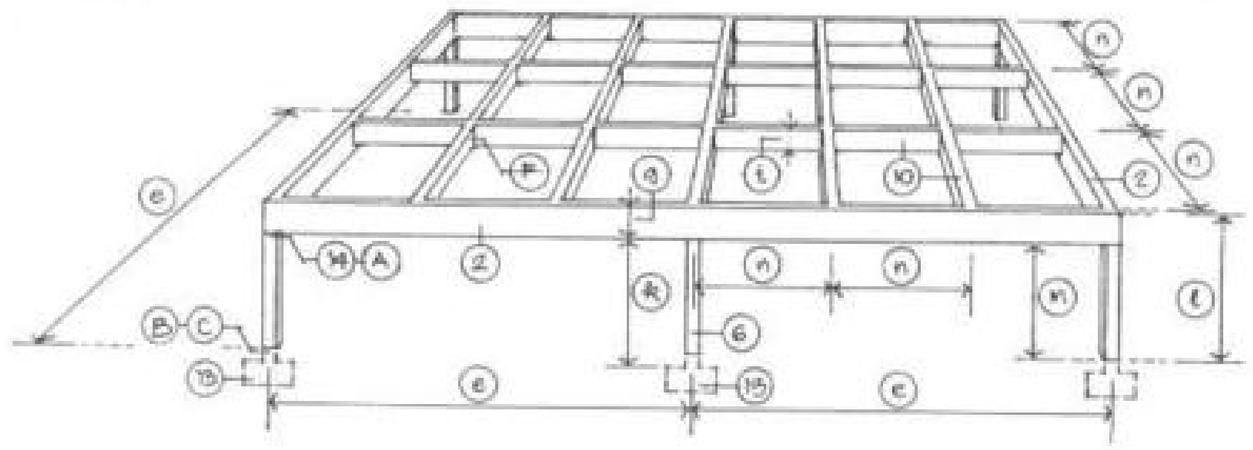
3.1 Estructuras de vigas — Sistemas de vigas



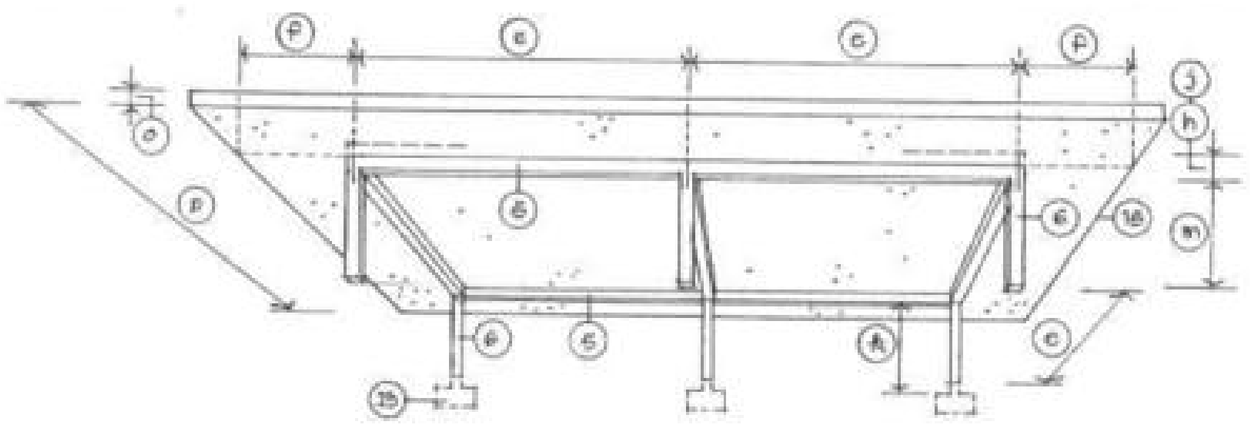
3.2 Estructuras de pórticos — Sistemas de pórticos



3.3 Estructuras de retículas de vigas — Sistemas de malha de vigas



3.4 Estructuras de losas — Sistemas de lajes



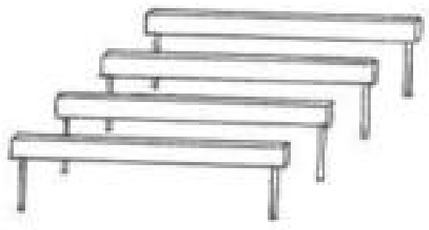
| Componentes del sistema | Componentes do sistema |
|---|---|
| ① Viga (viga continua) | Viga, viqueta (viga continua) |
| ② Viga de borde | Viga de borda, viga de amarração |
| ③ Viga de testero | Viga de vão |
| ④ Voladizo | Balanço |
| ⑤ Jácena | Viga |
| ⑥ Pilar | Coluna, pilar |
| ⑦ Pilar de pórtico | Pilar de pórtico |
| ⑧ Jácena del pórtico | Viga de pórtico |
| ⑨ Esquina del pórtico | Pórtico articulado, canto de pórtico |
| ⑩ Retícula de vigas | Reticula de vigas |
| ⑪ Apoyo articulado | Base articulada |
| ⑫ Anclaje a tracción | Ancoragem |
| ⑬ Cimiento | Fundação, base |
| ⑭ Apoyo | Suporte, apoio |
| ⑮ Perímetro de la losa | Laje de borda |

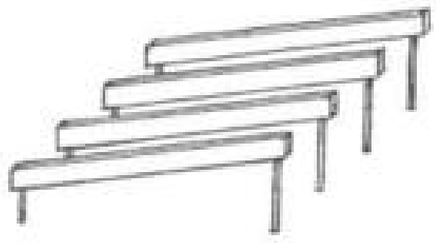
| Puntos topográficos del sistema | Sistema topográfico de pontos |
|---|---|
| Ⓐ Punto de suspensión | Ponto de suporte, ponto de apoio |
| Ⓑ Punto de base | Ponto de base |
| Ⓒ Punto de anclaje | Ponto de ancoragem |
| Ⓓ Punto de la esquina del pórtico | Ponto do canto do pórtico |
| Ⓔ Punto alero | Ponto de beiral |
| Ⓕ Punto de intersección | Ponto de interseção |

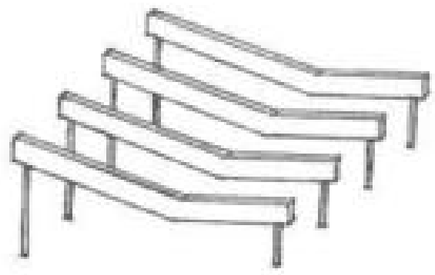
| Dimensiones del sistema | Dimensões do sistema |
|---|---|
| ⓐ Separación entre vigas | Espaçamento entre vigas |
| ⓑ Luz de la viga | Vão da viga, dimensão do vão |
| ⓒ Separación entre pórticos | Espaçamento entre pórticos |
| ⓓ Luz de la jácena | Vãos da viga |
| ⓔ Separación entre pilares | Distância entre colunas |
| ⓕ Longitud del voladizo | Comprimento do balanço |
| ⓖ Canto de la viga | Altura da viga |
| ⓗ Canto de la jácena | Altura da viga |
| ⓘ Canto de la retícula de vigas | Altura da reticula |
| ⓙ Canto total | Altura total |
| ⓚ Altura del pilar | Altura de coluna, comprimento |
| ⓛ Altura del alero | Altura de beirais |
| ⓜ Altura libre | Altura livre, vão livre |
| ⓝ Módulo de la retícula | Dimensão da reticula, módulo |
| ⓞ Espesor de la losa | Profundidade de laje, altura |
| ⓟ Anchura losa (longitud losa) | Largura de laje, (comprimento de laje) |

## 3.1 Estructuras de vigas / Sistemas de vigas

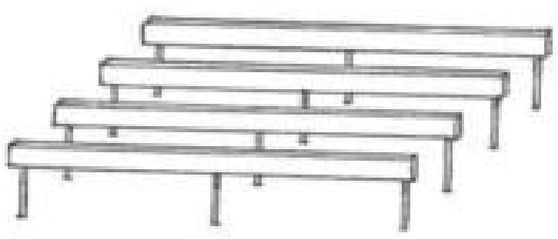
Vigas de un vano
Vigas de vão único

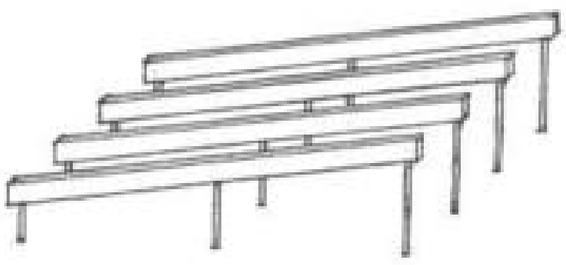


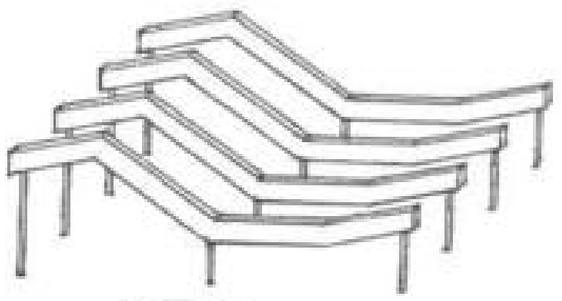




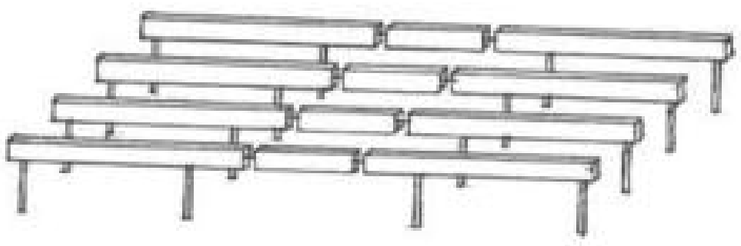
Vigas continuas
Vigas continuas

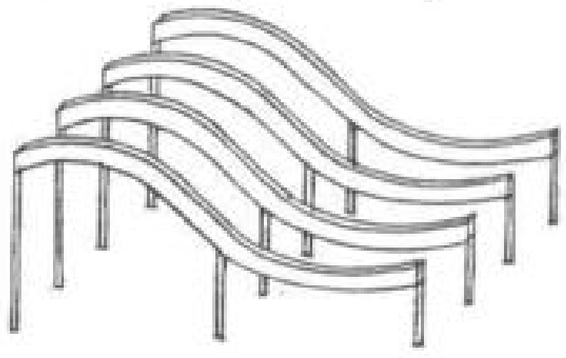




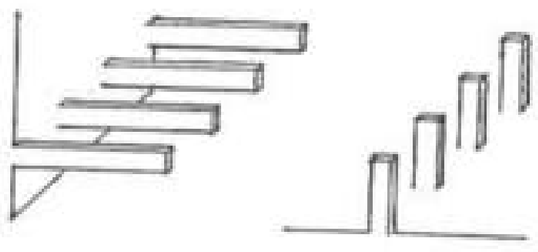


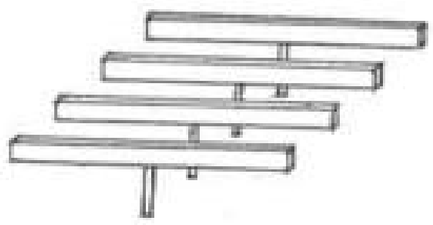
Vigas articuladas
Vigas articuladas





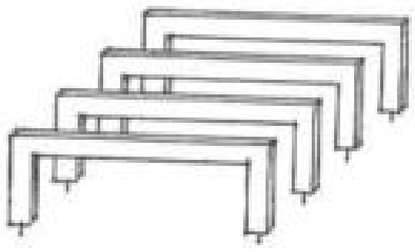
Vigas en voladizo
Vigas em balanço

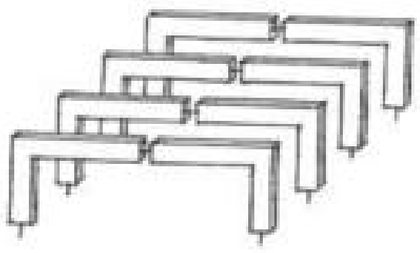


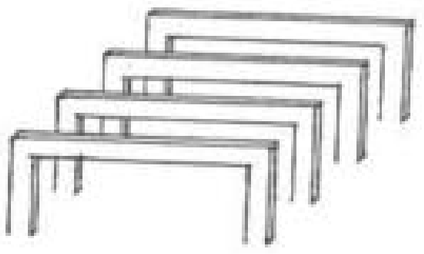


## 3.2 Estructuras de pórticos / Sistemas de pórticos

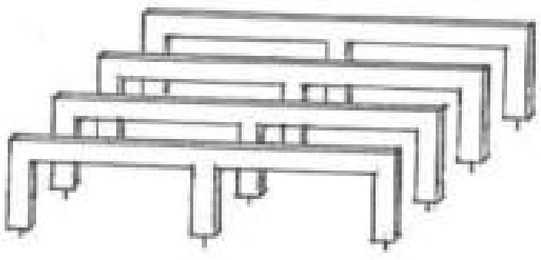
Pórticos de un vano
Porticos de vão único

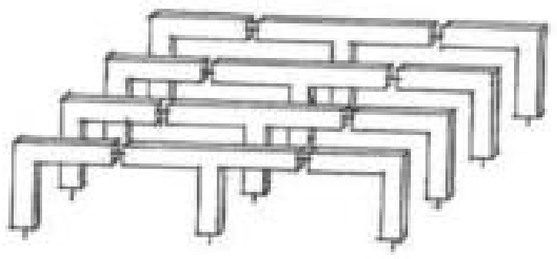


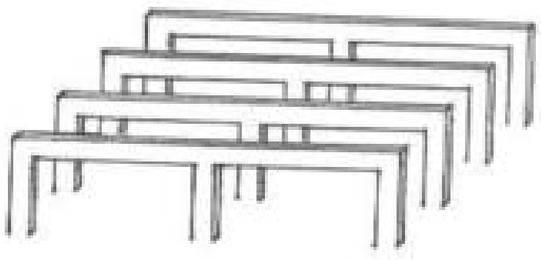




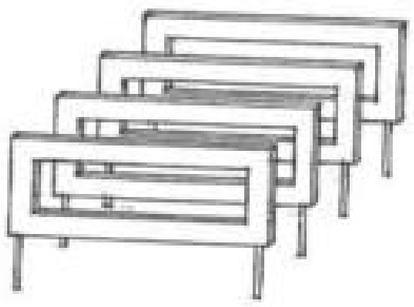
Pórticos de varios vanos
Pórticos de vários vãos

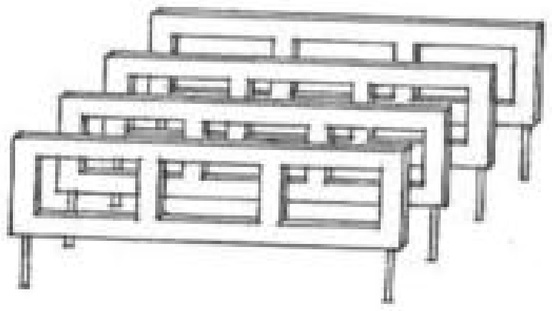


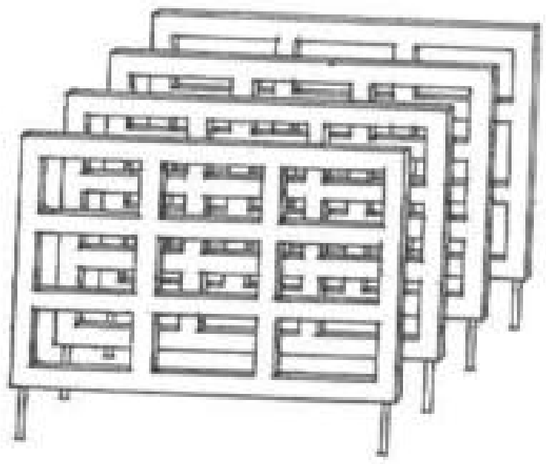




Pórticos de una planta
Pórticos de pavimento

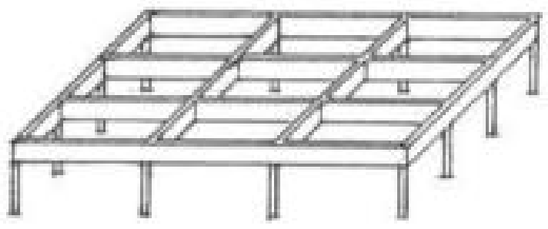


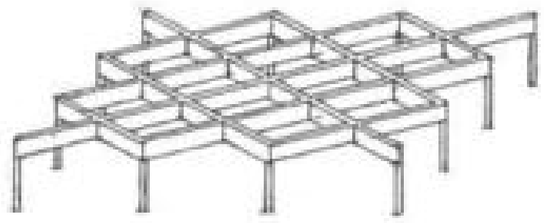


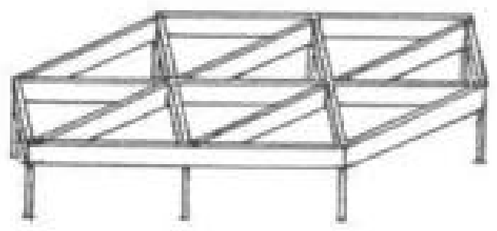


## 3.3 Estructuras de retícula de vigas / Sistemas de malha de vigas

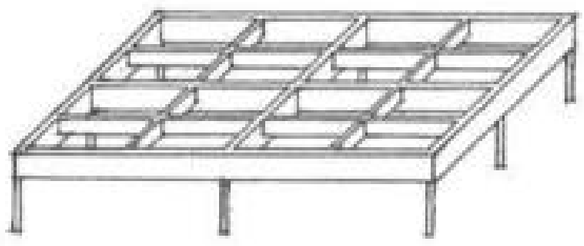
Retículas homogéneas
Malhas homogéneas

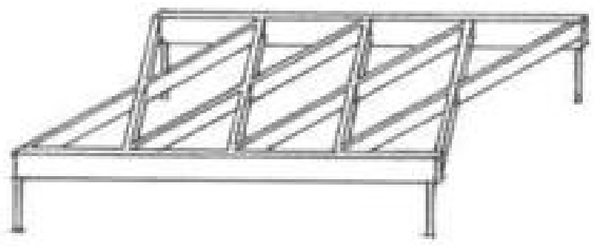




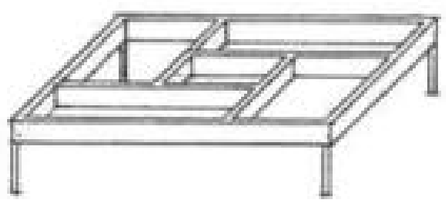


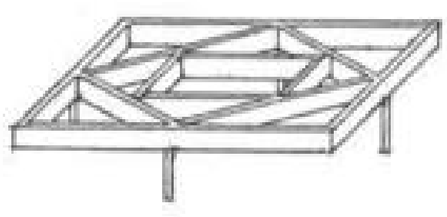
Retículas escalonadas
Malhas graduadas

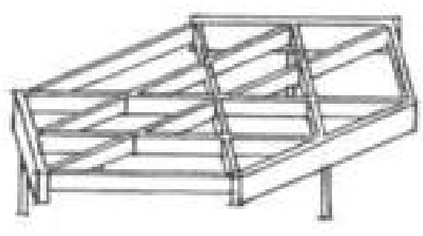




Retículas concêntricas
Malhas concêntricas

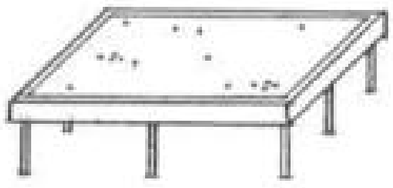


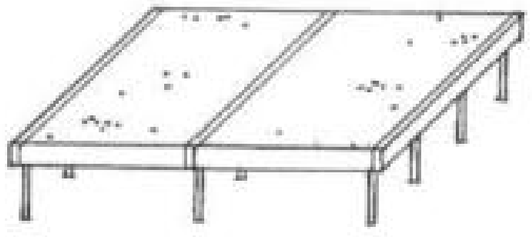


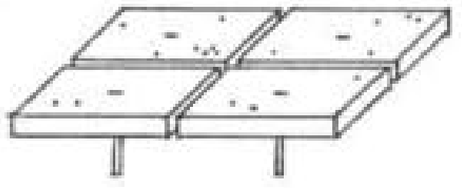


## 3.4 Estructuras de losas / Estruturas de lajes

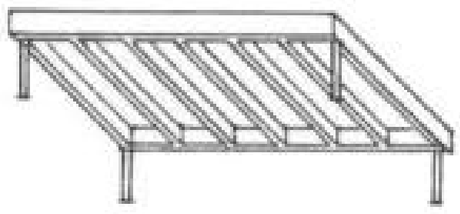
Losas uniformes
Lajes uniformes

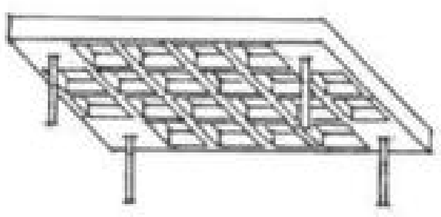


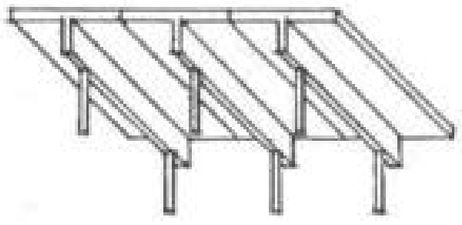




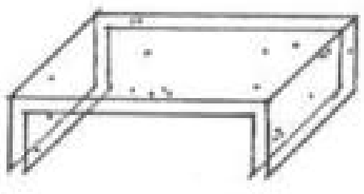
Losas nervadas
Lajes com nervuras

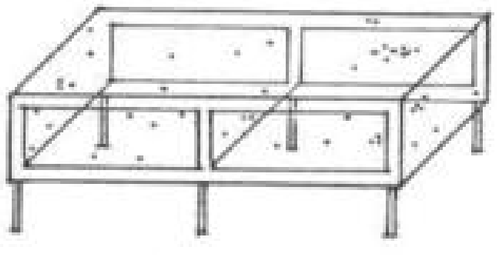


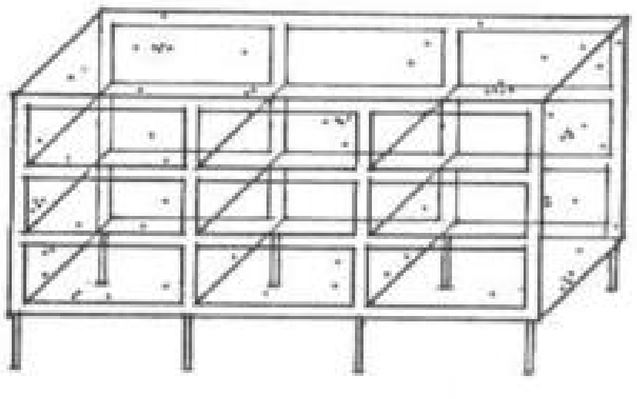




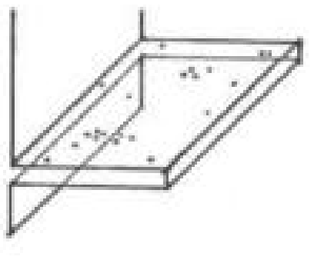
Pórticos de losas
Pórticos em caixa

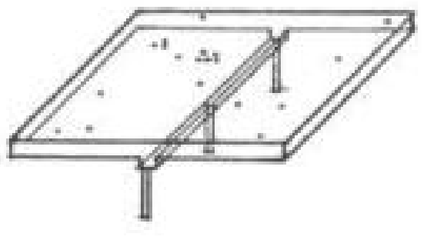






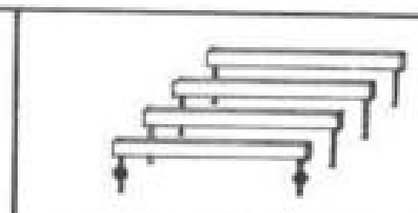
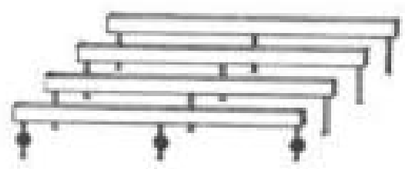
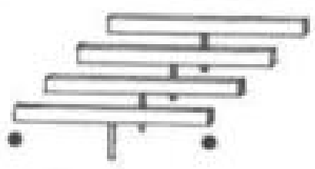
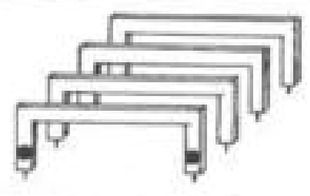
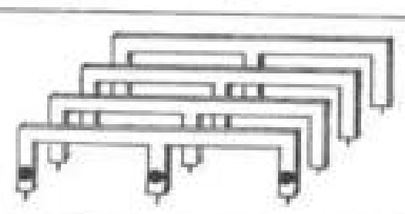
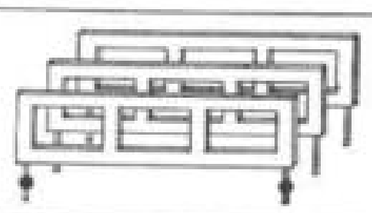
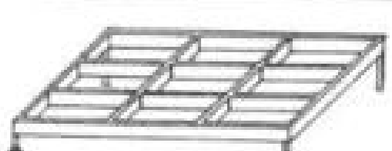
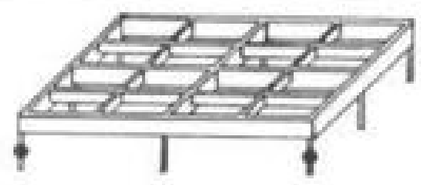
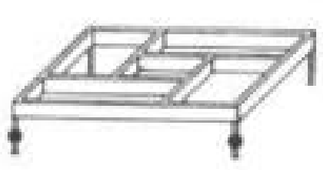
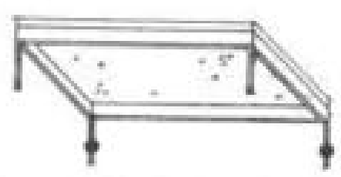
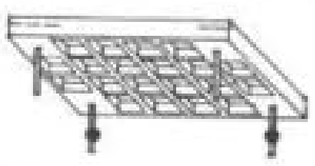
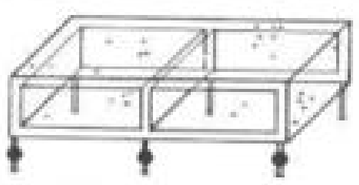
Losas en voladizo
Lajes em balanço





## Aplicaciones: sistema estructural - material - luces

## Aplicações: sistema de estrutura - material - vão

| Sistema estructural / Sistema de estruturas | | Material básico | Matéria prima | Luz en metros / Vãos em metros |
|---|---|---|---|---|
| Estructuras de VIGAS 3.1 Sistemas de VIGAS |  | madera<br>metal (acero)<br>hormigón armado | madeira<br>metal (aço)<br>concreto armado | 4 8 12<br>5 7 20 25<br>4 10 15 |
| |  | madera laminada<br>metal (acero)<br>hormigón armado pretensado | madeira<br>metal (aço)<br>concreto protendido | 7 10 30 55<br>5 8 25 50<br>7 10 25 30 |
| |  | madera<br>metal (acero)<br>hormigón armado | madeira<br>metal (aço)<br>concreto armado | 4 8 12<br>5 7 20 25<br>4 8 12 |
| Estructuras de PÓRTICOS 3.2 Sistemas de PÓRTICOS |  | madera laminada<br>metal (acero)<br>hormigón armado | madeira laminada<br>metal (aço)<br>concreto armado | 10 15 40 30<br>10 15 60 80<br>7 10 25 30 |
| |  | madera laminada<br>metal (acero)<br>hormigón armado | madeira laminada<br>metal (aço)<br>concreto armado | 10 15 45 55<br>10 15 25 65<br>8 10 28 35 |
| |  | madera laminada<br>metal (acero)<br>hormigón armado | madeira laminada<br>metal (aço)<br>concreto armado | 15 20 50 40<br>15 20 70 90<br>10 15 30 40 |
| Estructuras de RETÍCULA DE VIGAS 3.3 Sistemas de MALHA DE VIGAS |  | madera laminada<br>metal (acero)<br>hormigón armado | madeira laminada<br>metal (aço)<br>concreto armado | 10 12 25 30<br>10 12 25 30<br>5 8 15 20 |
| |  | madera laminada<br>metal (acero)<br>hormigón armado | madeira laminada<br>metal (aço)<br>concreto armado | 10 15 30 55<br>10 15 30 55<br>5 8 20 25 |
| |  | madera laminada<br>hormigón armado | madeira laminada<br>concreto armado | 8 10 20 25<br>5 8 15 18 |
| Estructuras de LOSAS 3.4 Sistemas de LAJES |  | madera (tablones)<br>hormigón armado | pranchas de madeira<br>concreto armado | 0 5 6<br>0 6 5 |
| |  | hormigón armado | concreto armado | 5 7 15 20 |
| |  | hormigón armado | concreto armado | 3 4 9 12 |

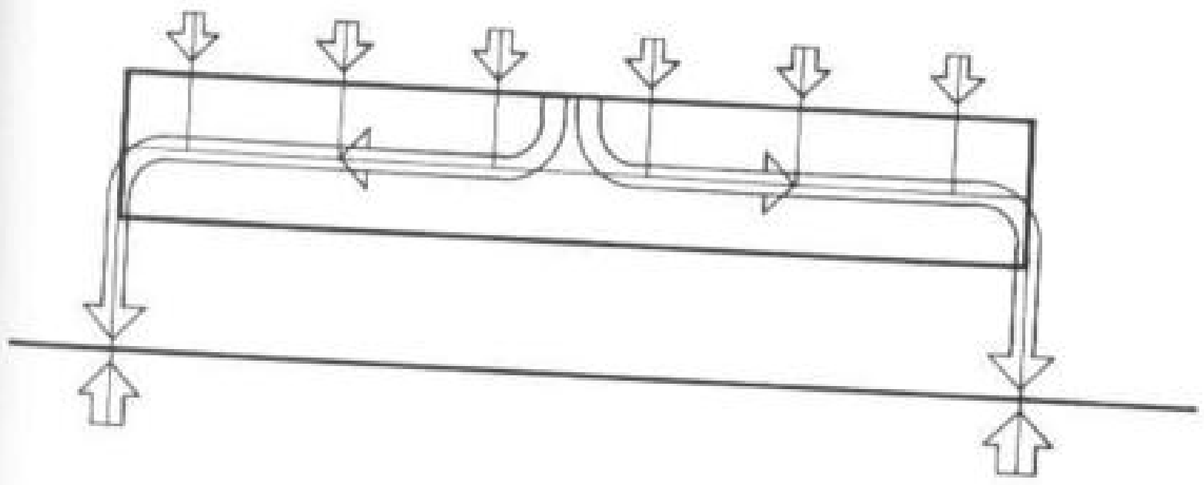
A cada tipo de estructura le corresponde un estado de tensiones específico en cada uno de sus componentes. De aquí se desprenden unas condiciones vinculantes en la elección del material básico de construcción y en las luces que pueden alcanzarse.

Para cada tipo de estrutura há uma condição inerente de tensão específica de seus componentes. Essa característica essencial submete o projeto das estruturas à associações racionais na escolha do tecido da estrutura principal, e na atribuição da capacidade de vão.

# Sección activa

Sistemas de estructuras de

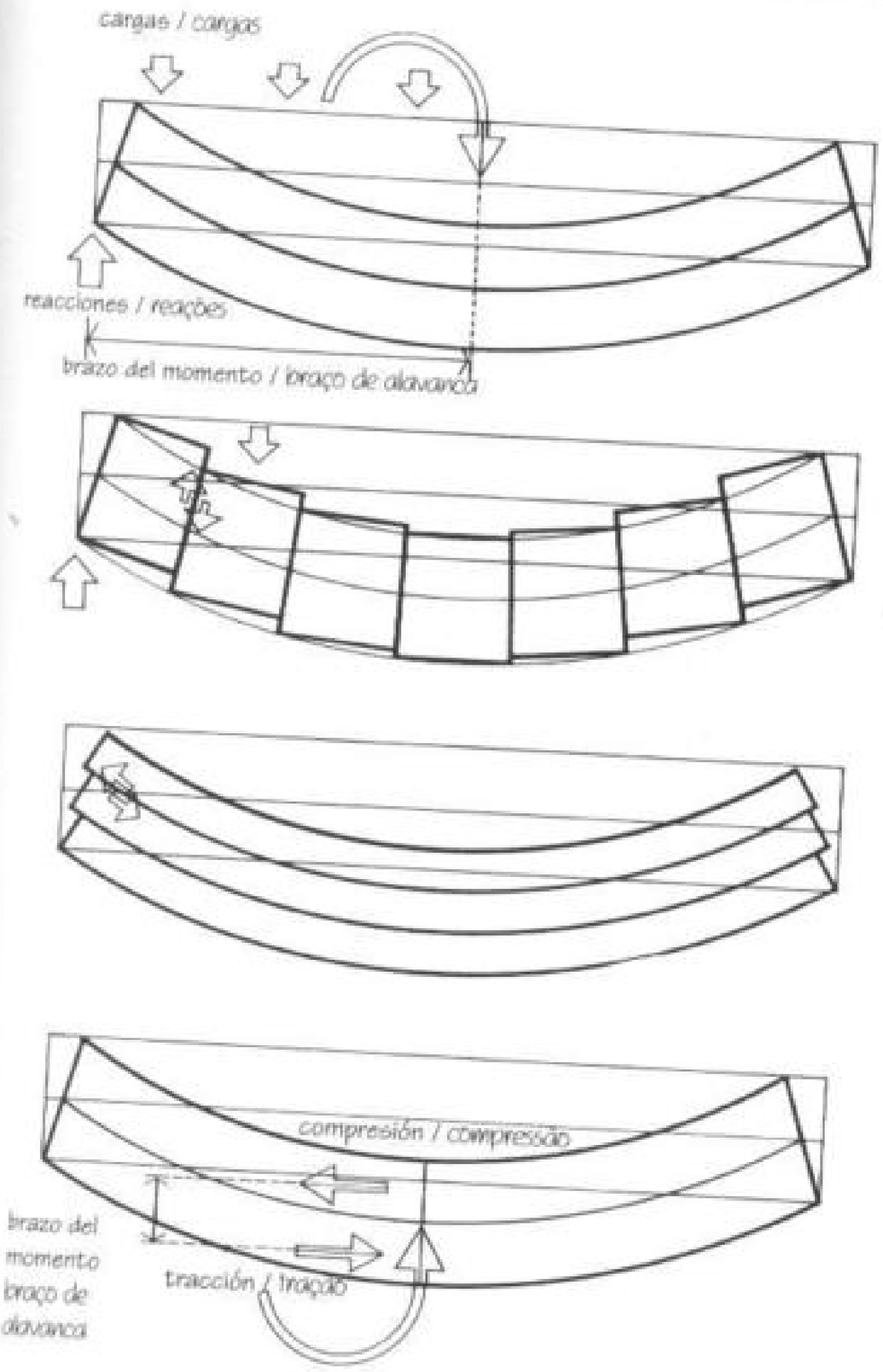
## Definición de las estructuras de sección activa



Sistema de transmisión de las fuerzas

Las fuerzas externas se transmiten a través del material de la sección (fuerzas seccionales)

## Mecanismo de flexión y de resistencia a la flexión




Momento exterior de giro (flexión)

La suma de las fuerzas exteriores (cargas y reacciones) hace girar los extremos libres (puntos de apoyo) y ocasiona una curvatura en el eje longitudinal: flexión.

Fuerzas verticales (cortantes)

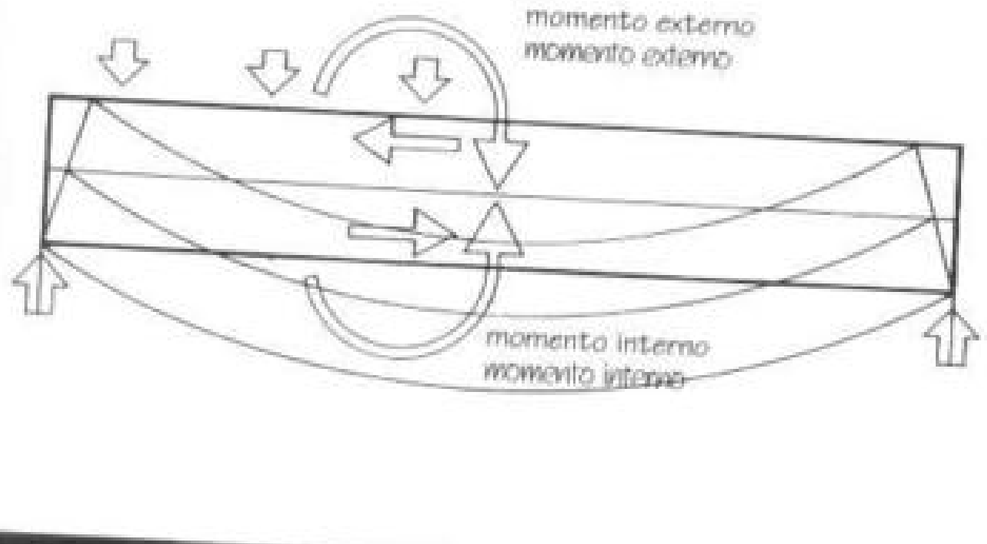
Dado que la dirección de la carga y su reacción no actúan a lo largo de la misma cara de los diferentes planos, las fuerzas externas tienden a desplazar las fibras verticales de un plano respecto a las fibras verticales del plano contiguo.

Fuerzas cortantes horizontales

La flexión provoca una contracción de la cara superior y un estiramiento de la inferior, con lo que se desplazan las fibras horizontales de un plano respecto a las de su contiguo.

Momento interno de giro (reacción)

Debido a la flexión surgen fuerzas de tracción y de compresión, a través de la transmisión de esfuerzos cortantes, que provocan un momento de giro interno.




Flexión y resistencia a la flexión

El momento de giro de las fuerzas externas provoca una flexión hasta alcanzar el punto en el que el momento de giro interno es lo suficientemente grande como para equilibrarlo.

## Definição dos sistemas estruturais de seção-ativ

Sistema de transmissão de forç

As forças externas são transmitidas por meio da massa da seção (forças seccionais)

## Mecanismo de flexão e resistência à flexão

Momento de rotação externo (flexão)

A soma das forças externas (cargas e reações) gera uma rotação das extremidades livres (pontos de apoio), que causa a curvatura do eixo longitudinal: flexão.

Esforço cortante vertical

Uma vez que as direções de carga e reação não se encontram, as forças externas fazem as fibras verticais tenderem ao deslizamento, produzindo uma força cortante vertical.

Esforço cortante horizontal

A deformação por flexão origina uma contração das camadas superiores e uma expansão das camadas inferiores. As fibras horizontais tendem ao deslizamento, introduzindo um esforço cortante horizontal.

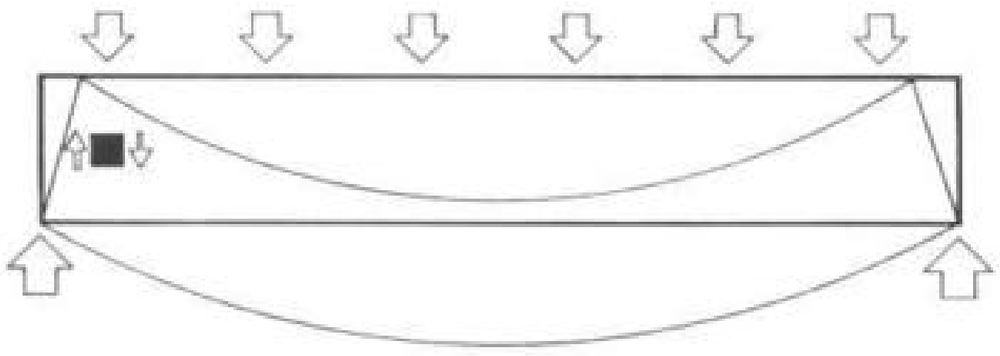
Momento de rotação interno (reação)

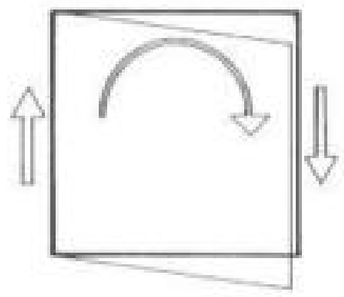
Por causa da deformação de flexão, originam-se esforços de tração e compressão na secção por meio de esforços cortantes, que produzem um momento de rotação interno.

Flexão e resistência à flexão

O momento de rotação das forças externas produz uma deformação por flexão, até que seja atingido um ponto em que o momento reativo interno se torne suficientemente grande para compensar o momento externo.

## Relación entre esfuerzos cortantes, de tracción y de compresión en la flexión

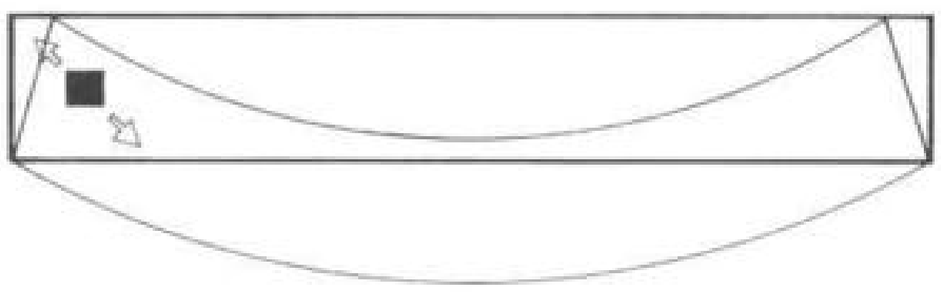


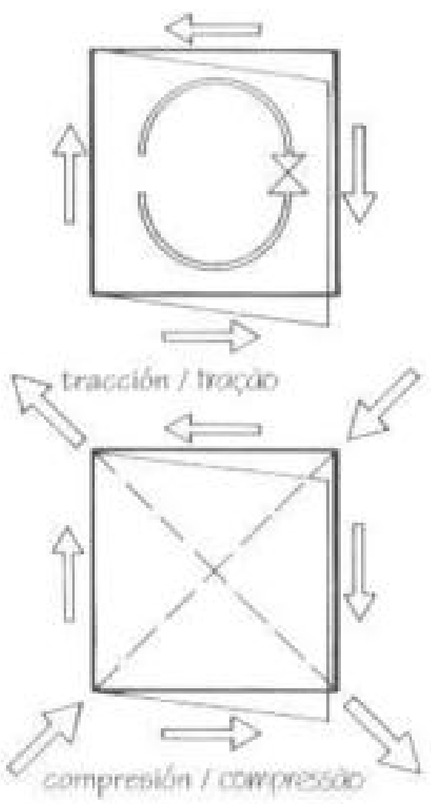


## Relação entre cisalhamento, tração e compress na flex

Las fuerzas verticales exteriores originan esfuerzos c tantes que intentan girar cada diferencial del material la viga, provocando una deformación por flexión.

Em virtude das forças externas, originam-se esforços cortan verticais, que tendem a fazer girar os elementos (retangulare de uma viga e provocam a deformação por flexão.





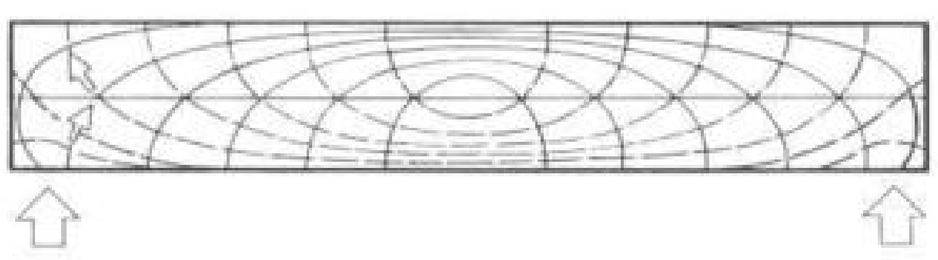

Debido a la deformación por flexión se originan tensio cortantes horizontales que intentan girar cada diferen en sentido contrario y con ello establecen un equilibrio rotación.

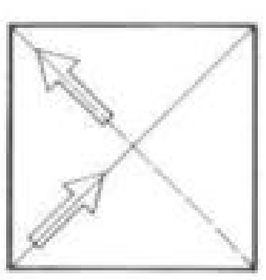
Em virtude da deformação por flexão, originam-se esforços c tantes horizontais, que tendem a fazer girar os elemen (retangulares) em direção oposta e a estabelecer o equil em rotação.

Las tensiones transversales y las tensiones cortant horizontales se unifican en esfuerzos de tracción y co presión que deforman cada diferencial hasta convert en rombo. La rigidez del material se opone a esta def mación.

Os esforços cortantes verticais e horizontais combinam-se p formar esforços tanto de tração quanto de compressão, dão aos elementos uma forma romboide. Esta deformaçã suportada pela resistência do material.

## Líneas de las principales direcciones de las tensiones: retícula de líneas isostáticas



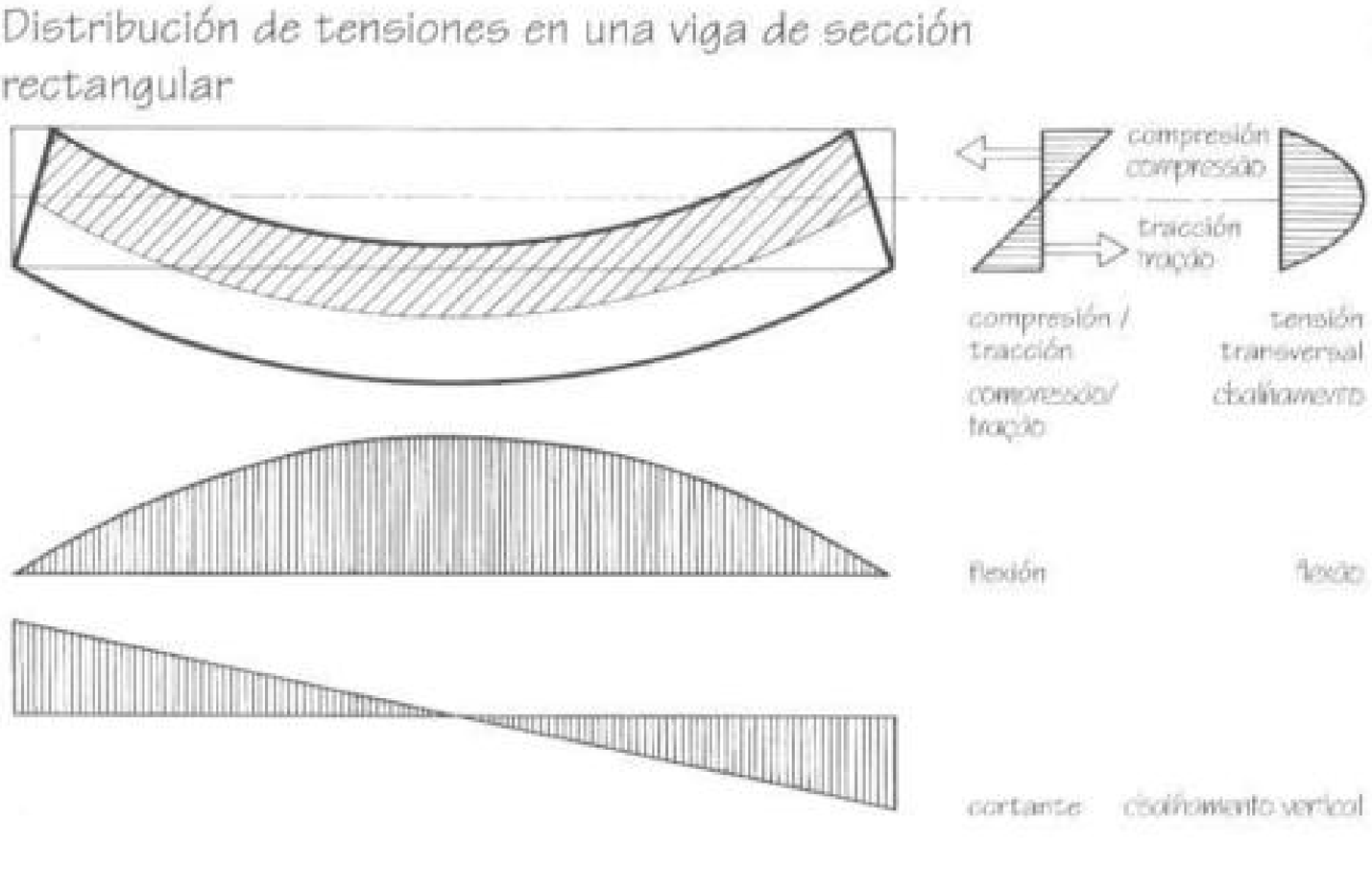


## Linhas das direções principais de esforços: isostáti

Las direcciones de las tensiones en una viga forman d grupos que siempre se cruzan en ángulo recto: la direcc de las tensiones de compresión tiene forma de arco fu cular mientras que la dirección de las tensiones de tra ción tiene forma de catenaria.

A forma de esforço em viga indica dois grupos de direções esforços que se interceptam sempre em ângulos retos: direç de esforços de compressão assumem forma de arco, e as di ções de esforços de tração assumem forma de catenária.

## Distribución de tensiones en una viga de sección rectangular




## Distribuição de esforços através da viga de seç retangul

Distribución de las tensiones en la sección de una viga. Distribuição de esforços pela seção da viga.

En el caso de una carga uniforme, las tensiones de flexi se distribuyen en forma de parábola a lo largo de la viga alcanzan su valor máximo en el centro de la misma.

Os esforços de flexão para carga contínua são distribuí parabolicamente ao longo da viga. Os esforços máximos oc nem no meio do vão.

En cambio, los esfuerzos cortantes alcanzan su máxi valor junto a los apoyos y decrecen hacia el centro. En centro de la viga son nulos.

Os esforços cortantes verticais são máximos nos apoios decrescem em direção ao centro, sendo nulos no meio do vã

# Sección activa 3

Sistemas de estructuras de

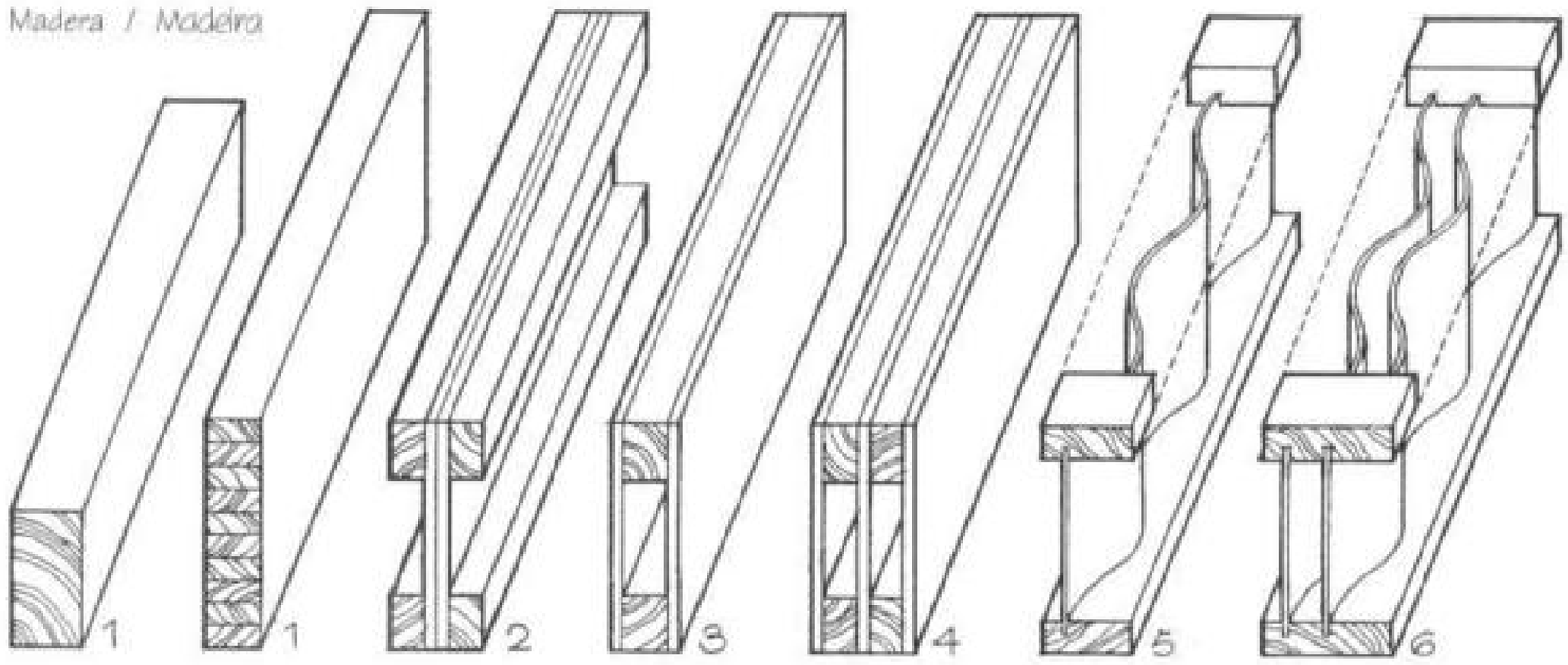
## Tipos de sección de las vigas lineales

El mecanismo de actuación de las estructuras de sección activa descansa en la movilización de esfuerzos seccionales. Es decir, la función portante de estos sistemas se realiza mediante acciones en su sección. Como consecuencia, en este caso –a diferencia de los demás tipos de estructuras–, al proyectar la estructura es importantísimo la forma de la SECCIÓN de la viga en función del material empleado.

## Perfis de vigas

Os mecanismos dos sistemas de estruturas de seção-ativa repousam sobre a mobilização de forças de seção. Isto quer dizer que a função estrutural desses sistemas é executada por ações na seção. Conseqüentemente o desenho do PERFIL da viga, de acordo com o material específico, é –diferente de outras famílias de estruturas– a preocupação principal no desenvolvimento de estruturas.

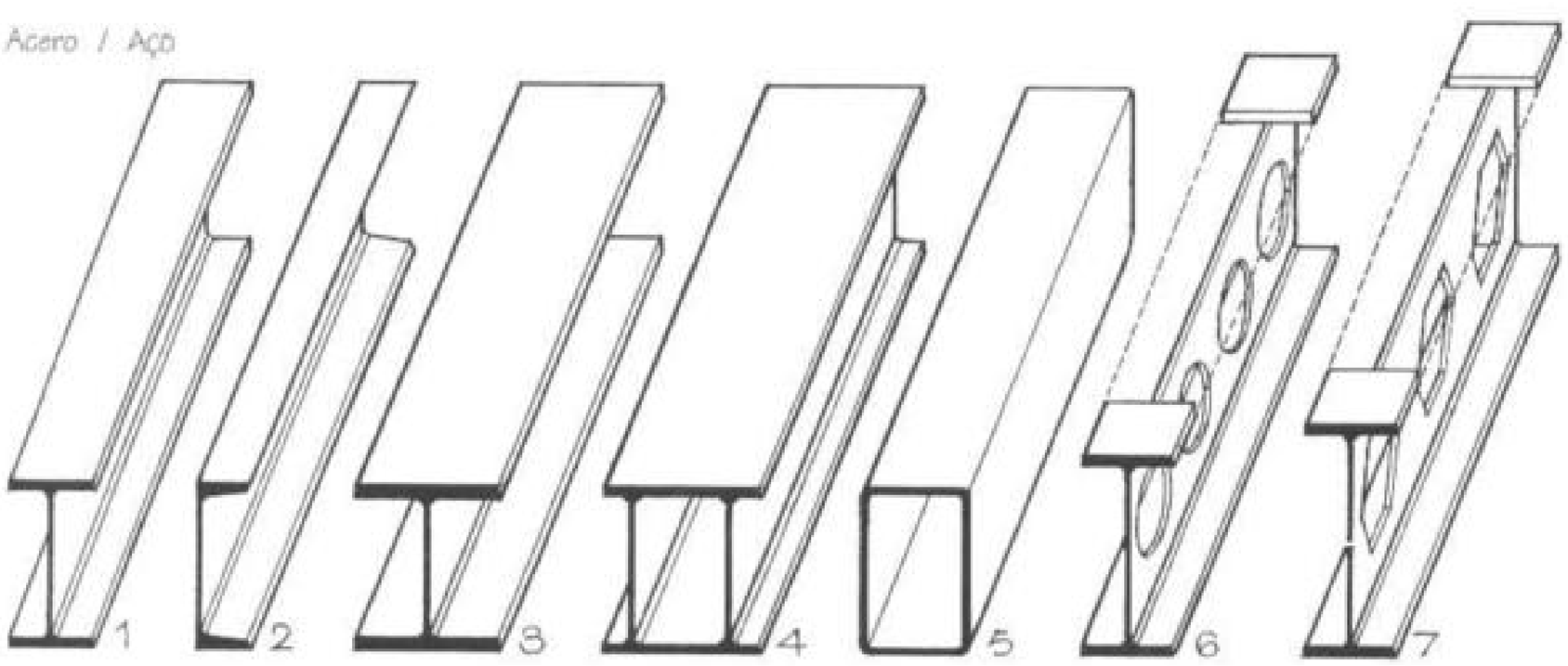
Madera / Madeira




1 Viga rectangular
2 Viga I
3 Viga de caja
4 Viga de doble caja
5 Viga con alma ondulada
6 Viga con doble alma ondula

1 Viga retangular
2 Viga em I
3 Viga de caixa
4 Viga de caixa dupla
5 Viga de alma ondulada
6 Viga de alma ondulada dupla

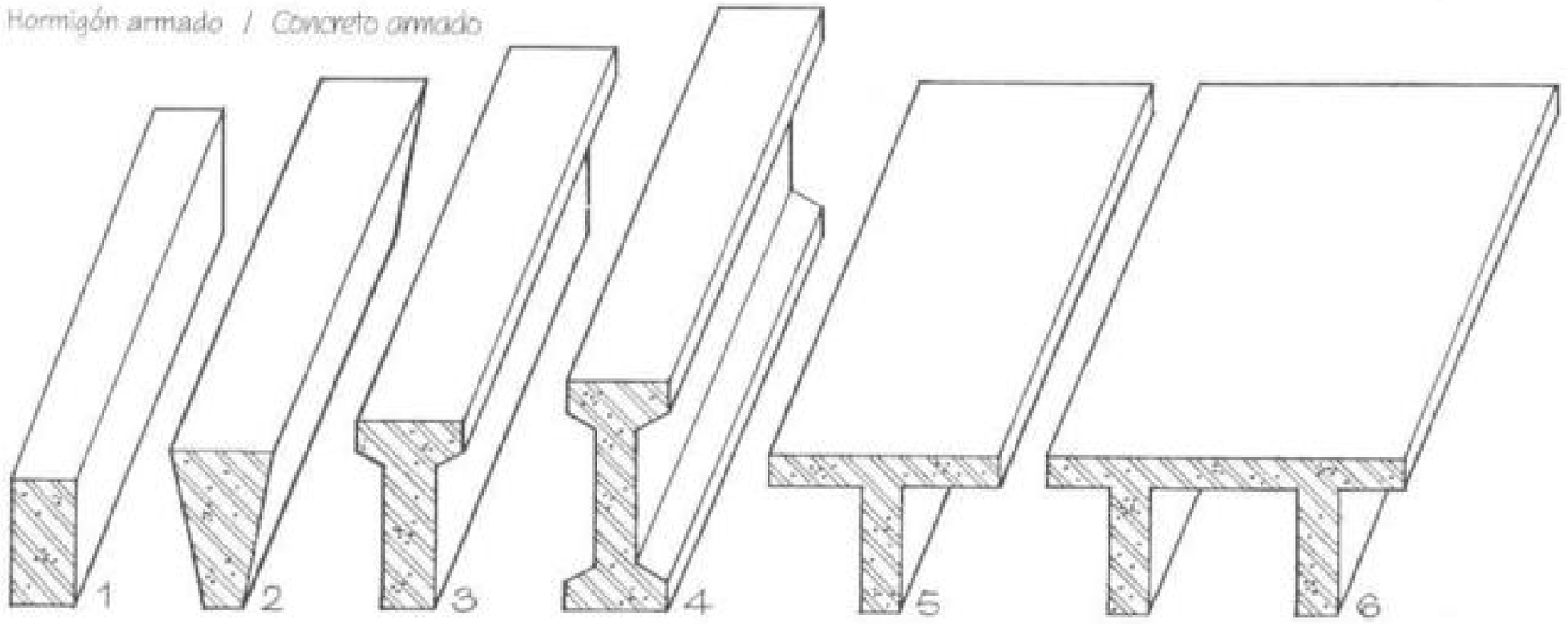
Acero / Aço




1 Viga I
2 Viga U
3 Viga H
4 Viga de caja
5 Viga de perfil hueco
6 Viga perforada
7 Viga alveolada

1 Viga em I
2 Viga em U
3 Viga em H
4 Viga de caixa
5 Viga de seção oca
6 Viga de alma perfurada
7 Viga de alma alveolada

Hormigón armado / Concreto armado




1 Viga rectangular
2 Viga trapezoidal
3 Viga T
4 Viga I
5 Losa con nervio
6 Losa con doble nervio

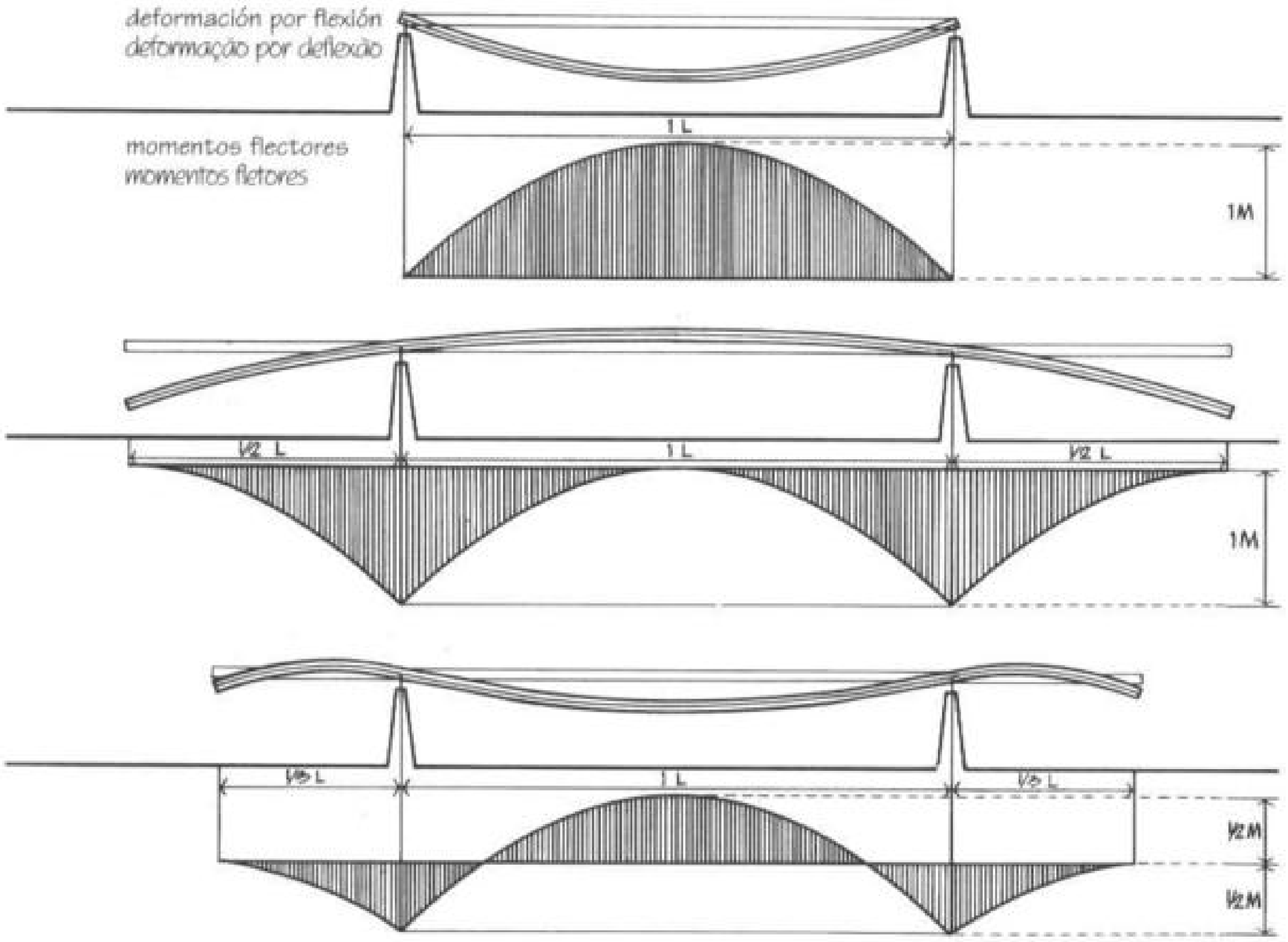
1 Viga retangular
2 Viga trapezoidal
3 Viga de conta superior
4 Viga em I
5 Viga em T
6 Viga em duplo T

Además de las secciones estándar de una viga, determinadas en gran parte por las propiedades del material empleado, la combinación de varios materiales de construcción para aprovechar al máximo sus características, conduce a secciones de forma especialmente eficaz: VIGAS COMPUESTAS

Além das formas padrão dos perfis de viga determinados pelas propriedades de um único material estrutural, a combinação de materiais, e a união dos seus respectivos méritos estruturais, permite novas criações, eficientes seções cruzadas: VIGAS COMPOSTAS

## Influencia del voladizo en la eficacia de una viga

## Influência da ação de um balanço na eficiência de uma vi




Viga biapoyada
Viga simplesmente apoiada

sin vola
sem balan

Viga con voladizo en ambos extremos igual a 1/2 de la luz
Viga com ambas as extremidades em bala de 1/2 do

Viga con voladizo en ambos extremos igual a 1/3 de la luz
Viga com ambas as extremidades em bala de 1/3 do

## Influencia del tipo de apoyo en la eficacia de una viga

## Influência das condições de apoio na eficiência da vi

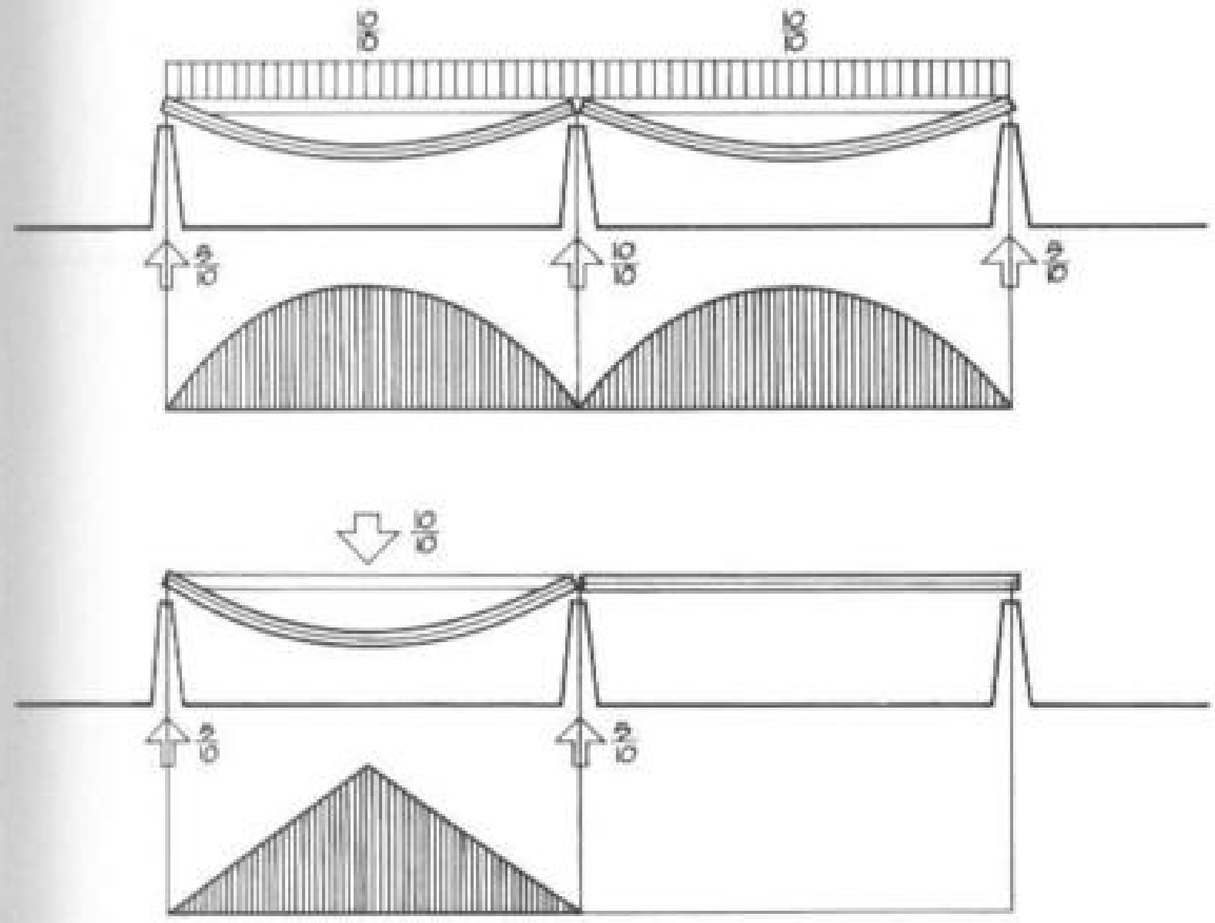



Viga con un solo apoyo en el centro
Viga com apoio simples no ponto médio de comprime

Viga biapoyada a 1/4 de los extremos
Viga biapoiada a 1/4 dos extre

Viga biapoyada a 1/5 de los extremos
Viga biapoiada a 1/5 dos extre

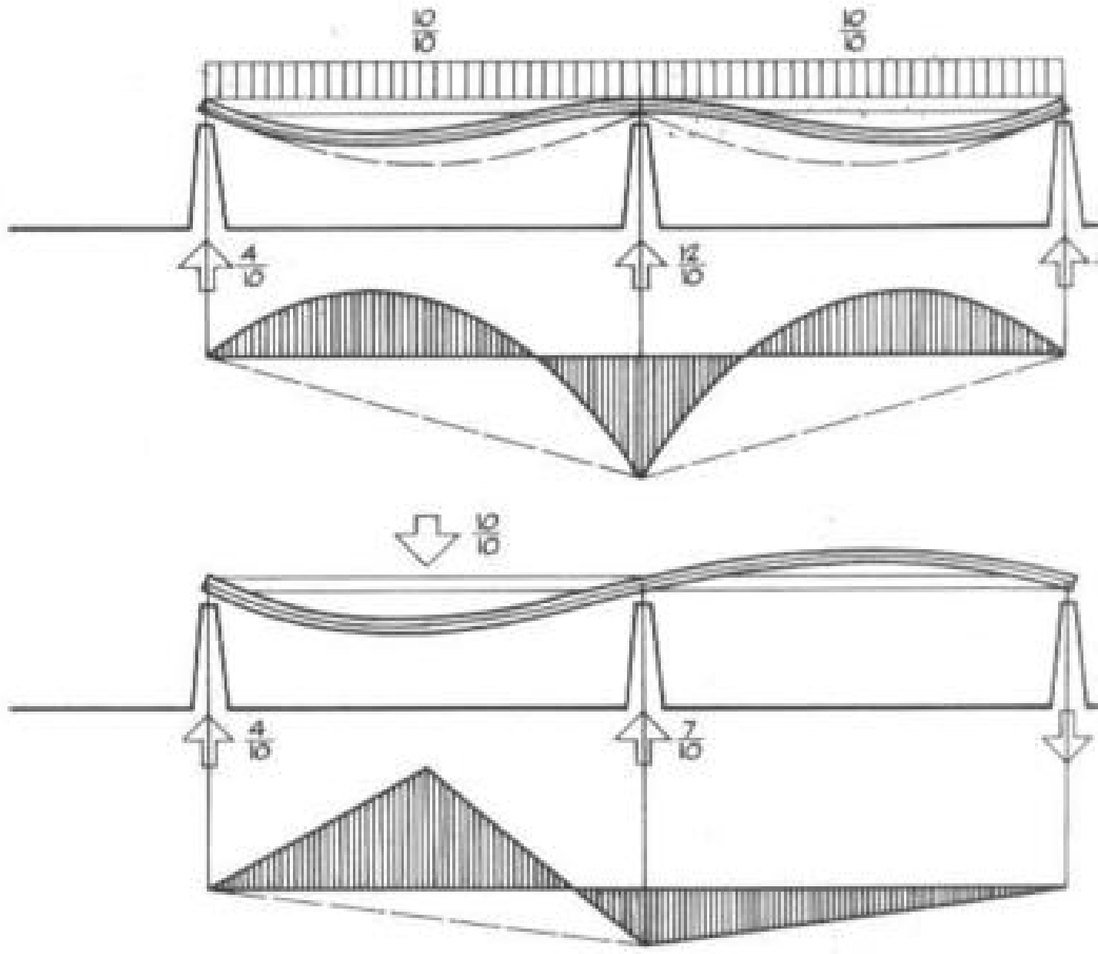
## Comparación entre vigas continuas y discontinuas



Viga *discontinua:* la deformación en uno de los vanos no se transmite al otro. Las cargas afectan independientemente a cada vano

Viga *descontinua:* a deformação por flexão em um vão não se transmitirá ao outro. As cargas atuarão sobre cada vão independentemente

## Comparação entre vigas continuas e descontinuas



Viga *continua:* la deformación en uno de los vanos se transmite al otro. Las cargas en un vano se soportan en toda la longitud de la viga

Viga *continua:* a deformação por flexão em um vão transmitir-se-á ao outro. As cargas sobre um vão serão resistidas pelo comprimento total da viga

## Influencia de la continuidad en el mecanismo portante

*Carga uniforme a lo largo de toda la viga*

*Debido a la continuidad, se reduce el giro de la viga en los apoyos. La máxima flexión se produce en los extremos libres de los últimos vanos, donde no se impide el giro*

*Carga continua em todo o comprimento*

*Em virtude da continuidade, a rotação da viga nos apoios fica restrita. A flexão máxima ocorre nos vãos extremos, onde a rotação de uma extremidade não é obstruída*

*Carga puntual en el último vano*

*La flexión en el vano donde actúa la carga queda reducida ya que el giro está obstaculizado en uno de los lados. Los vanos sin carga también participan en la absorción de la carga*

*Carga pontual em um vão extremo*

*A deformação por deflexão em um vão carregado fica restrita pela obstrução unilateral da rotação da viga. Os vãos sem carga também participam da carga resistente*

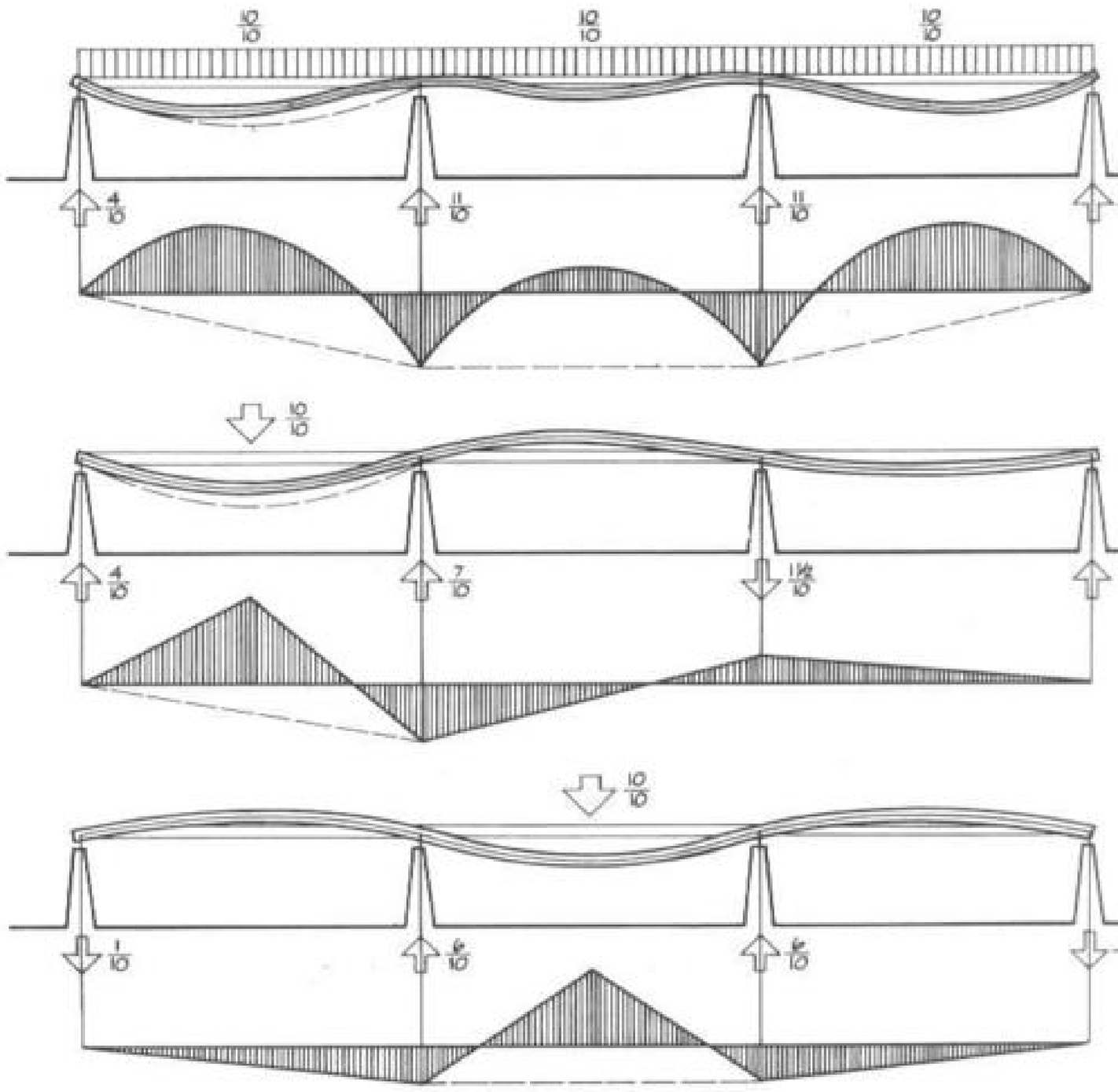
*Carga puntual en el vano central*

*La continuidad de la viga reduce el giro en los apoyos del vano cargado y toda la viga participa en el mecanismo portante*

*Carga pontual no vão central*

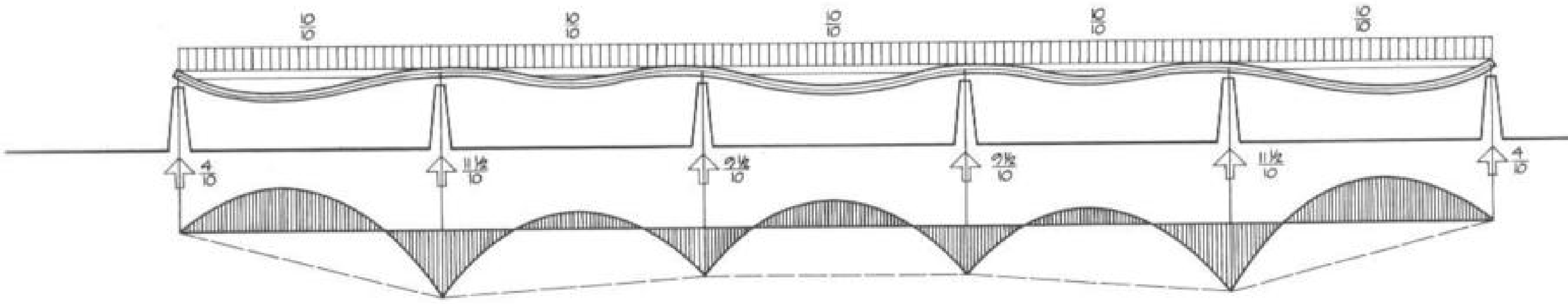
*Em virtude da continuidade, a rotação da viga sobre os apoios do vão carregado fica obstruída. Toda a viga é incluída no mecanismo portante*

## Influência da continuidade no mecanismo portante



## Mecanismo de flexión en una viga continua de 5 vanos

## Mecanismo de flexão na viga continua de 5 vãos

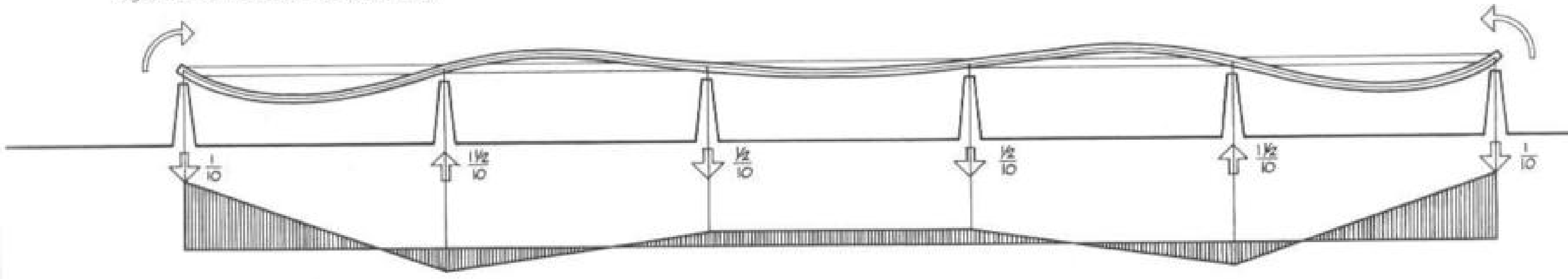



Magnitud de la flexión bajo una carga uniforme

La flexión alcanza su valor máximo en los vanos de los extremos, donde el giro no se compensa en los apoyos finales. La flexión es mínima en los vanos contiguos a los vanos de los extremos.

Variação da flexão baixo carga continua

A flexão máxima ocorre no vão extremo, onde a rotação no apoio externo não é impedida. A flexão mínima ocorre nos vãos contiguos aos vãos extremos.




Influencia del momento mayor en los vanos de los extremos

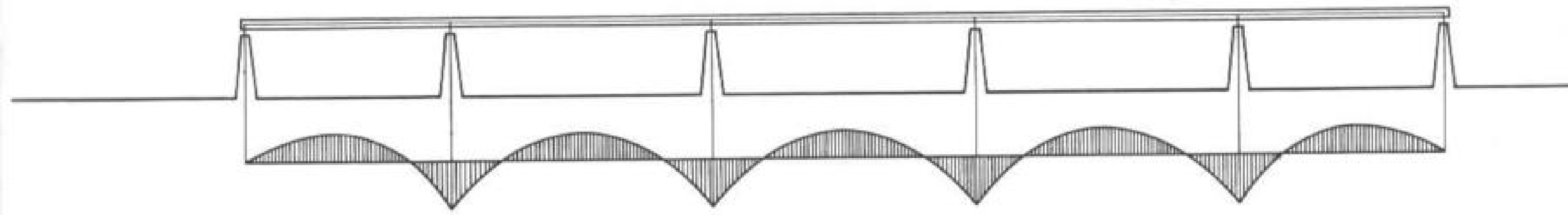
La falta de obstaculización del giro en los apoyos de los extremos influye en la flexión de los demás vanos como si fuera un momento adicional.

Influência do momento máximo no vão extremo

A falta de restrição de rotação nos apoios extremos influencia as deflexões dos outros vãos como se houvesse aplicado um momento adicional de rotação.

## Posibilidades de una distribución uniforme de la flexión en una viga continua

## Possibilidades de distribuição uniforme de flexão na viga continua

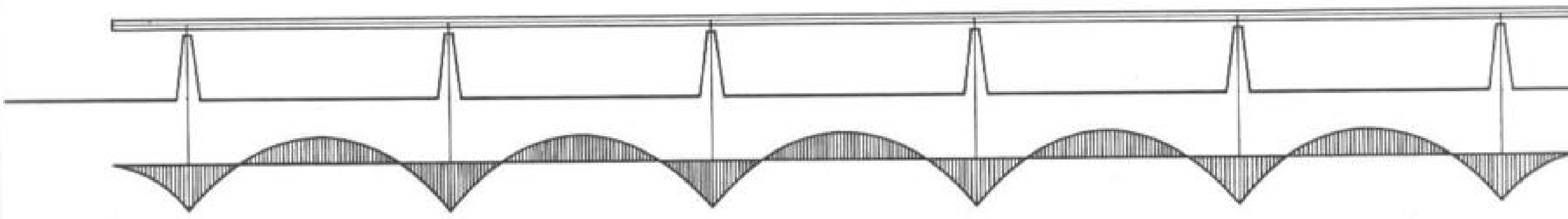


Reducción de los vanos de los extremos

Al reducir los vanos de los extremos se puede llegar a igualar la flexión en dichos vanos con la flexión en los vanos centrales.

Redução do vão extremo

Por meio da diminuição do comprimento do vão extremo, a flexão nesse vão pode igualar-se à dos outros vãos.

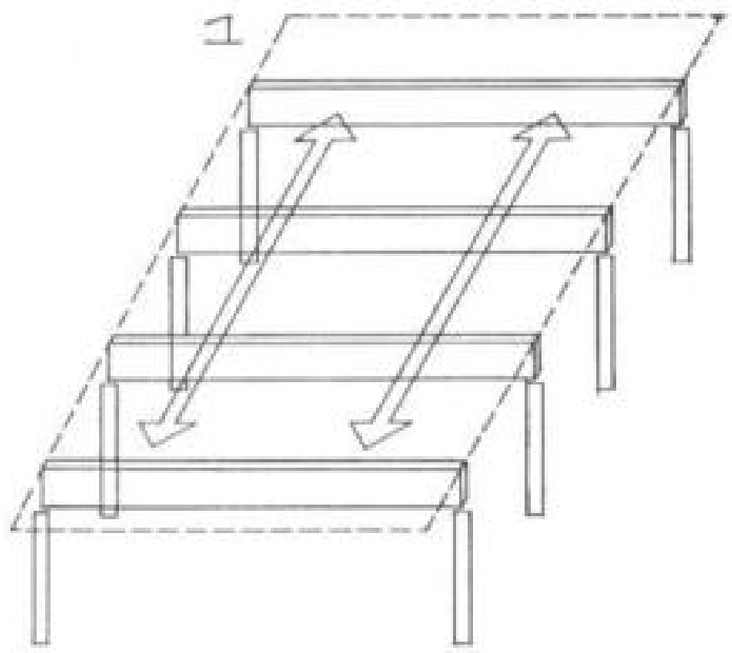


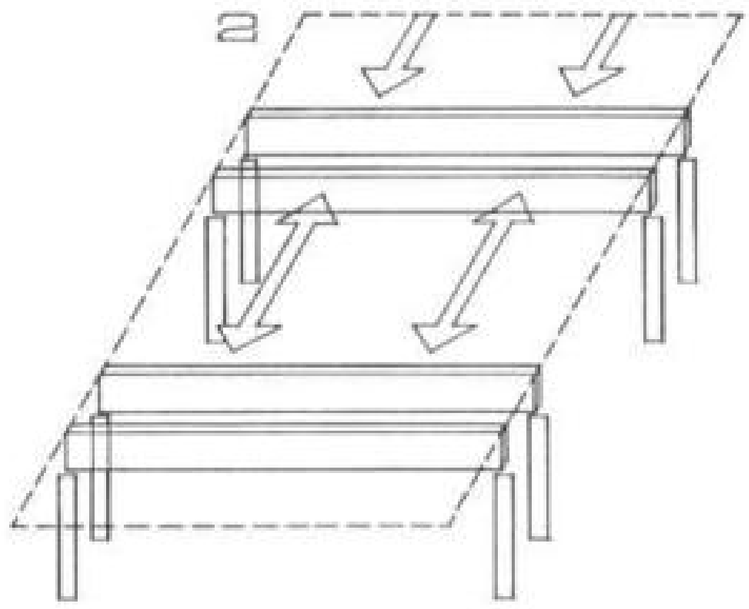
Voladizo en los vanos de los extremos

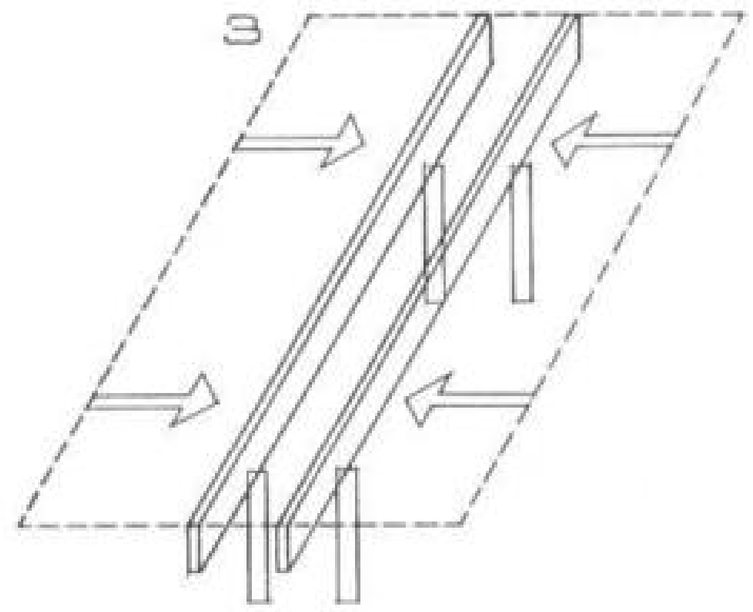
El giro de sentido contrario en los voladizos reduce la flexión en los vanos de los extremos hasta igualarla con la flexión en los demás vanos.

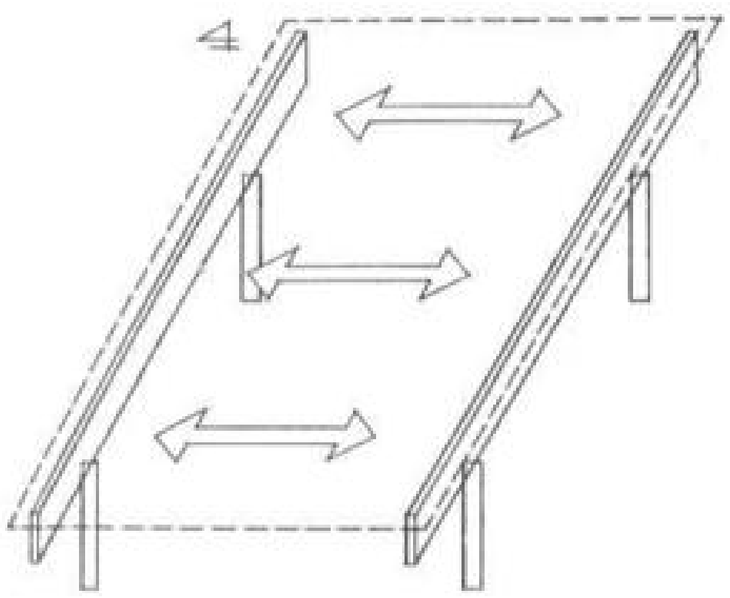
Balanços nos extremos

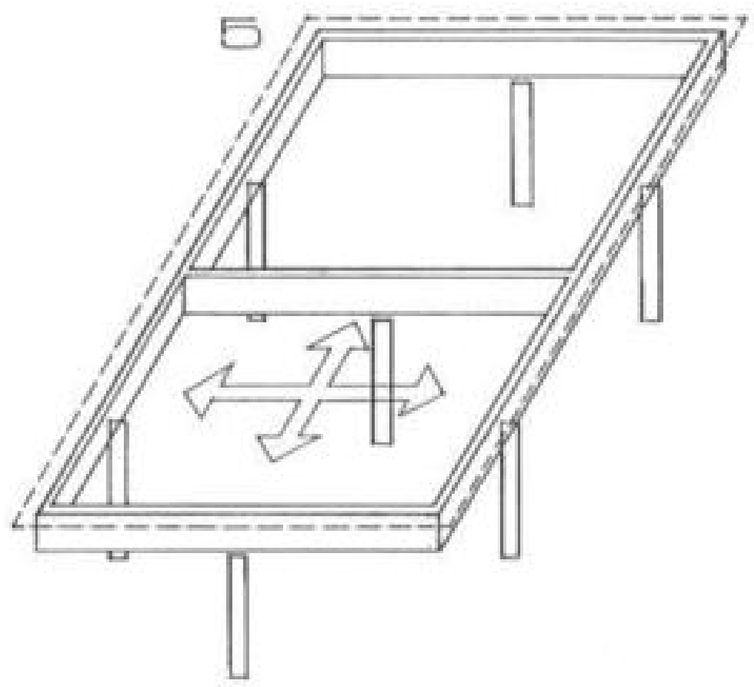
Em virtude da rotação inversa dos balanços, a flexão no vão extremo pode igualar-se à dos outros vãos.

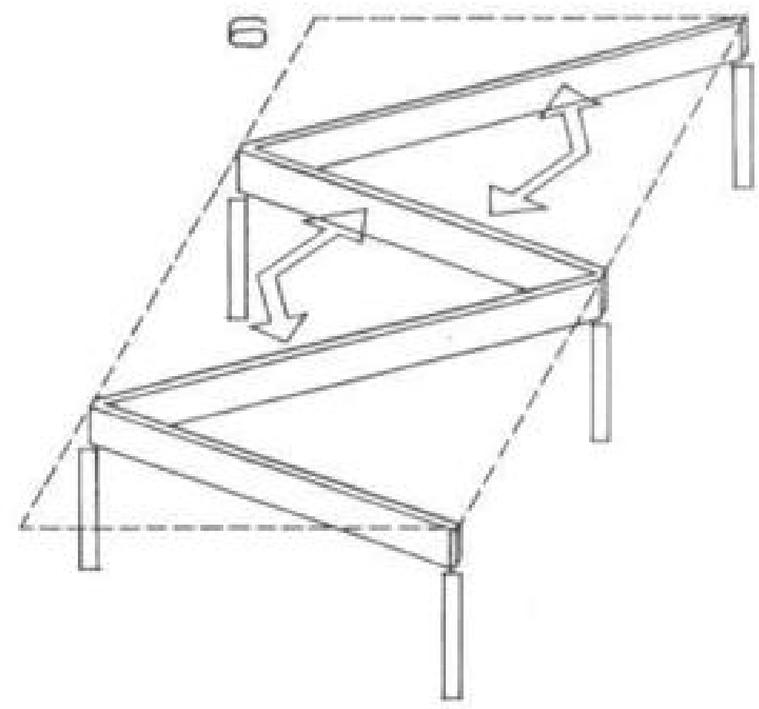


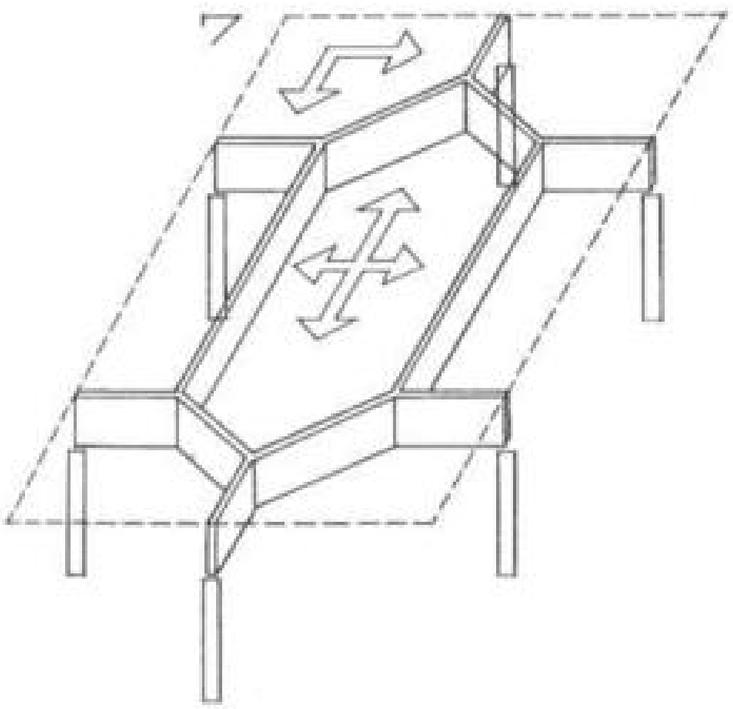



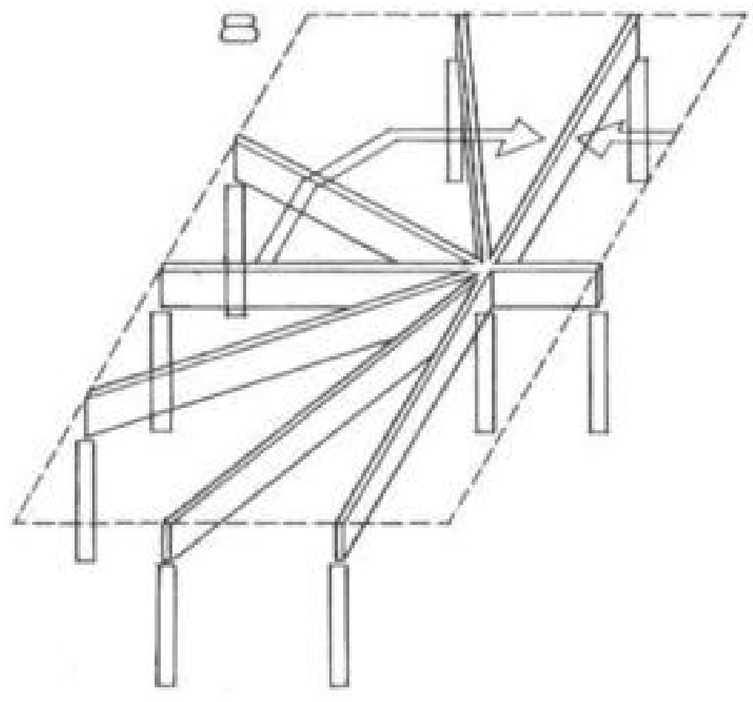



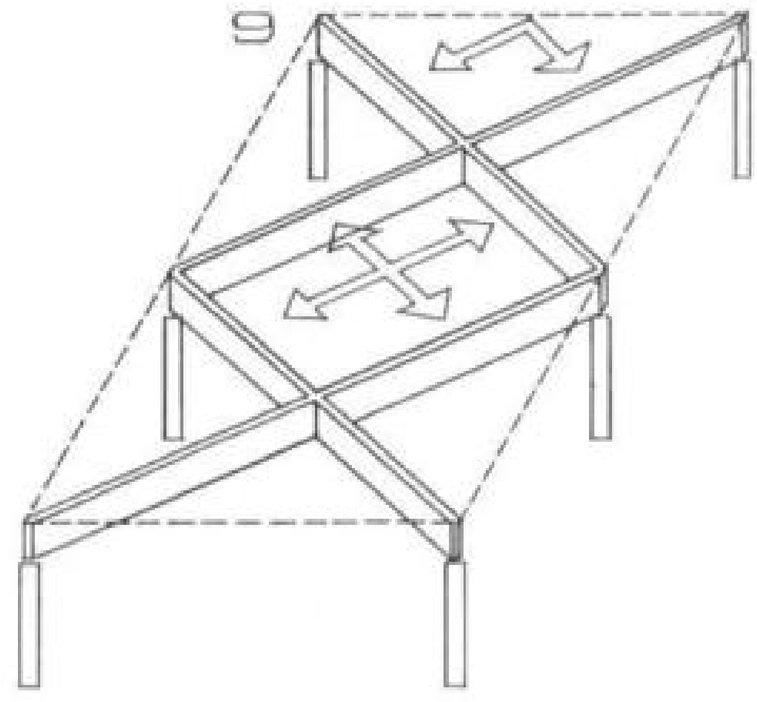



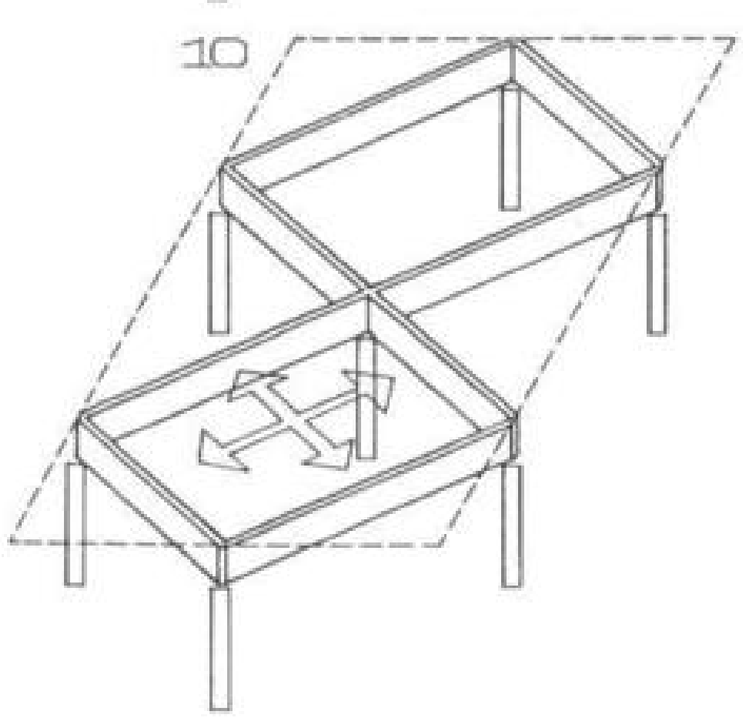



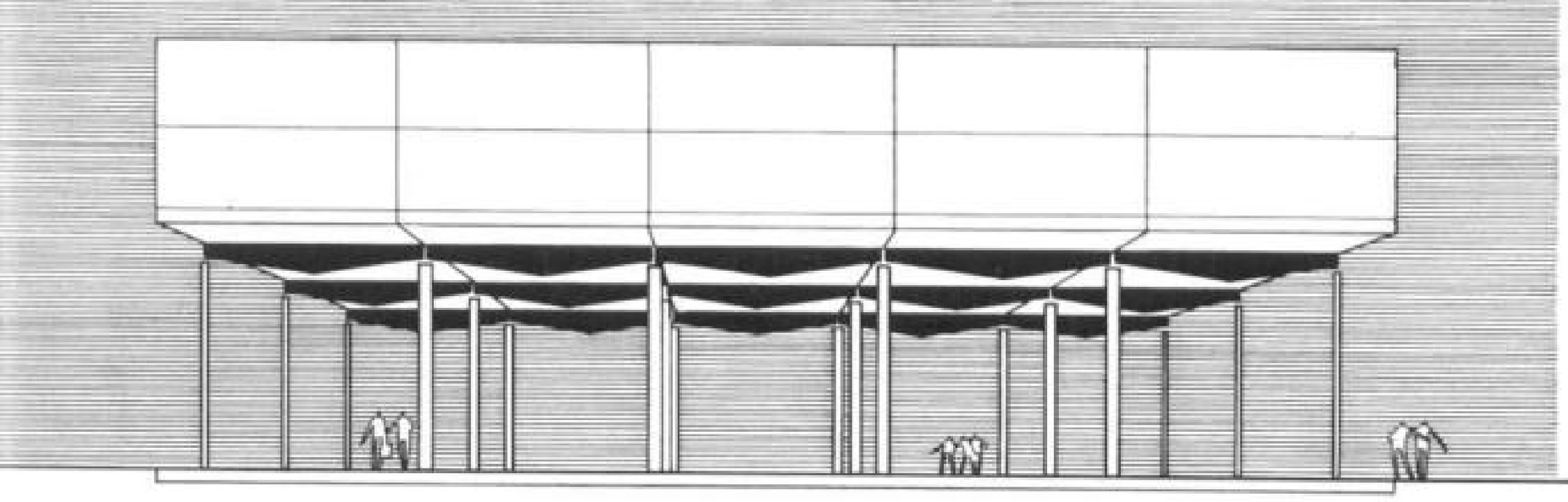




Colocación de las vigas para transmitir la carga
Posicionamento de vigas para transmissão de carga

1 Alineación transversal
2 Acoplamiento transversal
3 Acoplamiento longitudinal
4 En el borde longitudinal
5 Retícula cuadrada
6 En zigzag
7 Ramificación
8 Esquema radial
9 Cruce en diagonal
10 Retícula diagonal

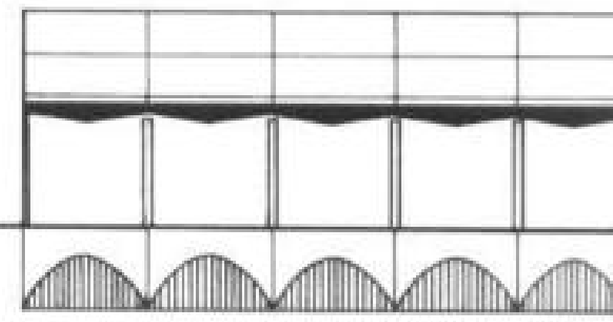
1 Alinñamento transversal
2 Acoplamento transversal
3 Acoplamento longitudinal
4 Posição de borda longitudinal
5 Reticula quadrada
6 Modelo obliquo em ziguezague
7 Ramificação
8 Modelo radial
9 Cruzamento diagonal
10 Reticula diagonal

## Estructuras y posibilidades formales para vigas de cinco vanos



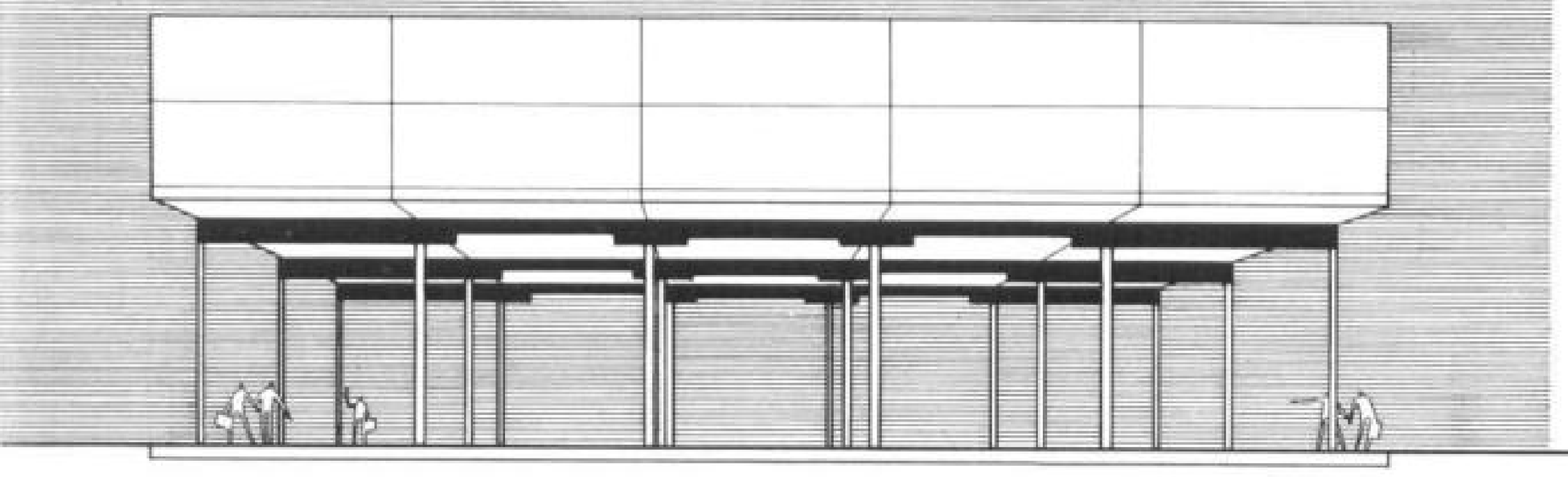
Incremento lineal del canto de las vigas hacia el centro del vano

aumento linear da altura da viga em direção ao centro do vão



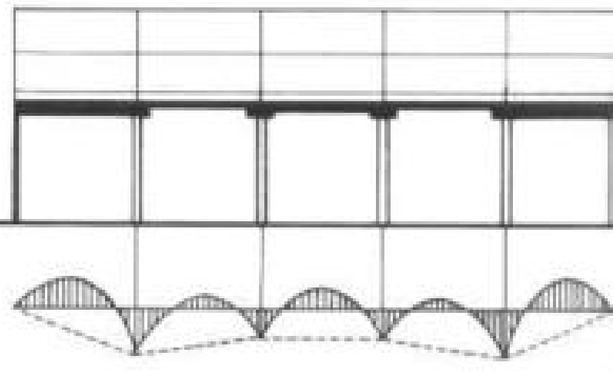
Vigas simples (discontinuas) para cada vano: distribución de tensiones idéntica en cada vano

Viga descontínua, uma para cada vão; distribuição dos esforços igual para cada vão



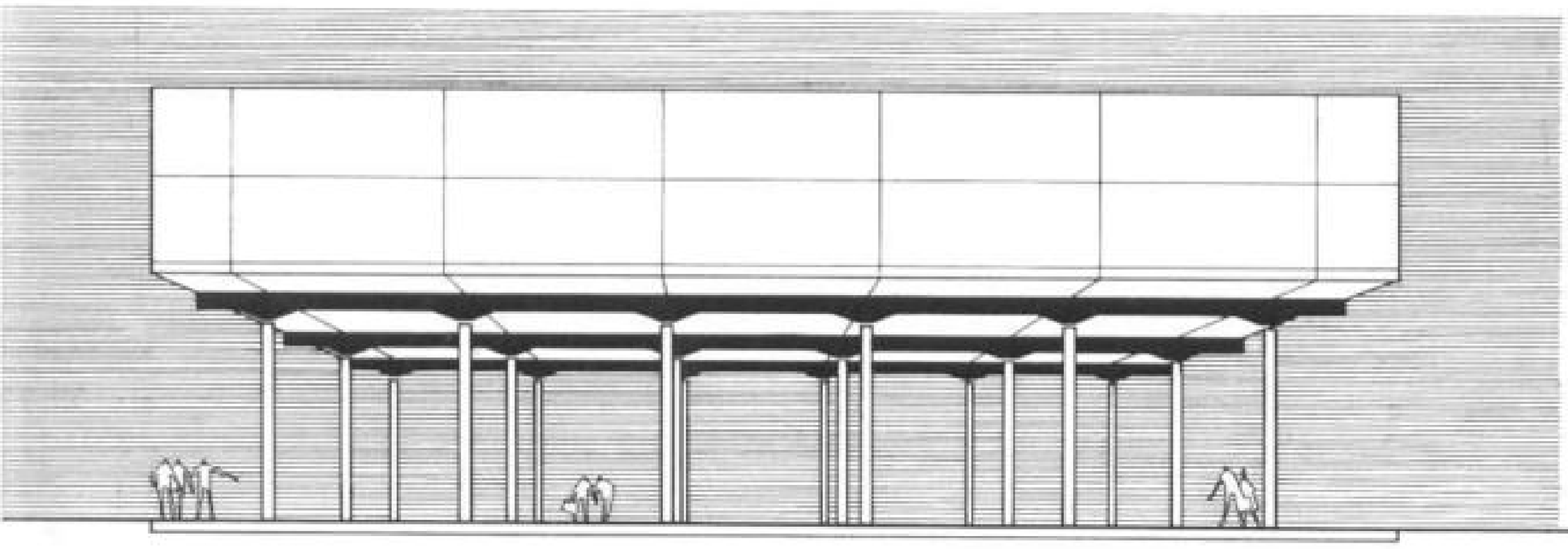
Igualación escalonada del canto de la viga

ajuste em degrau da altura da viga



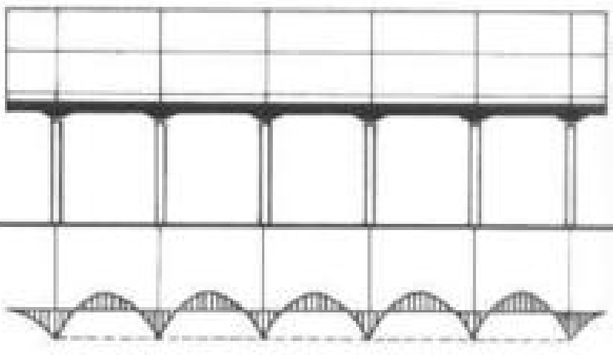
Viga continua sobre cinco vanos iguales; distribución de tensiones diferente en cada vano

Viga contínua sobre cinco vãos iguais; distribuição dos esforços diferente para cada vão



Incremento del canto de la viga sobre los apoyos

aumento da altura da viga sobre os suportes



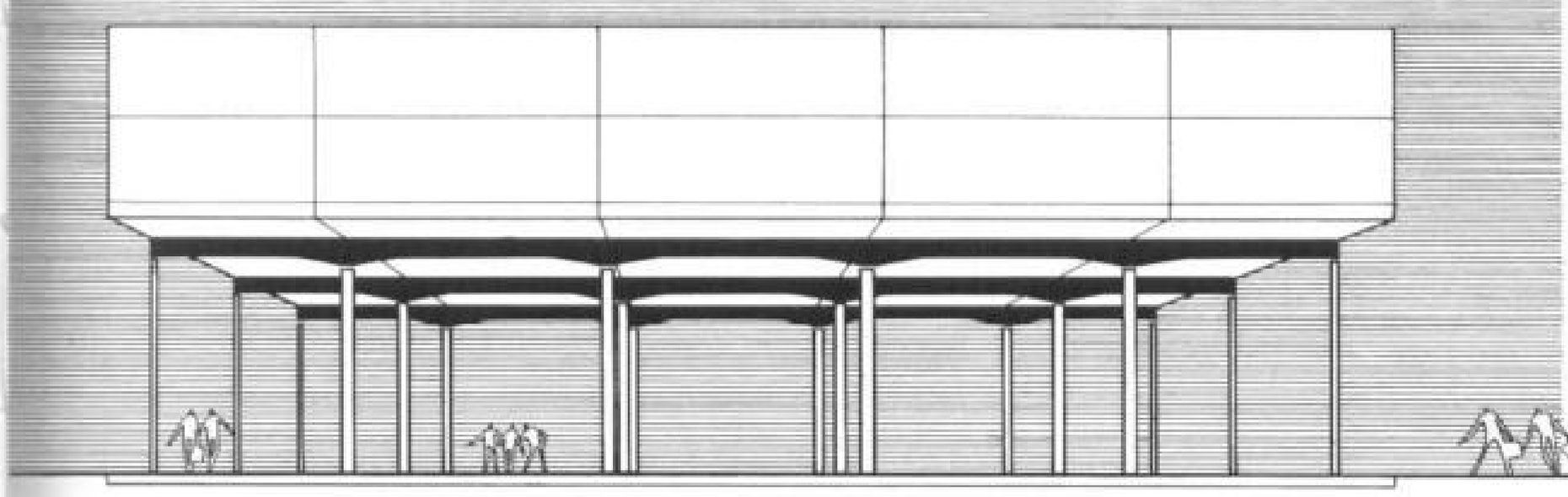
Viga continua con voladizos en los extremos: distribución de tensiones idéntica en cada vano

Viga contínua com balanços nos extremos; a distribuição dos esforços é igual para cada vão

# Sección activa 3

## Sistemas de estructuras de

*Sistemas estruturais e possibilidades de projeto para viga com cinco vãos*

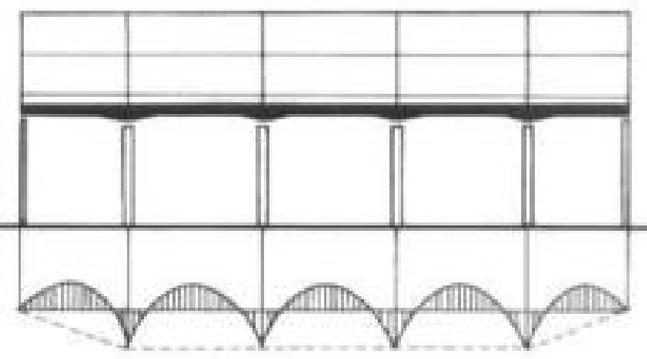


*Incremento del canto de la viga sobre los apoyos*

*aumento da altura da viga sobre suportes*

Viga continua con reducción de la luz en los vanos de los extremos: Igualación de las tensiones máximas en todos los vanos

*Viga continua com redução dos vãos extremos. Esforços máximos uniformemente distribuídos em todos os vãos*

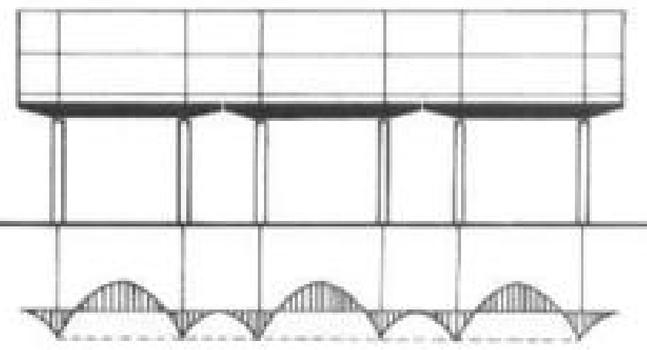


*reducción del canto de las vigas en los extremos*

*redução da altura da viga em direção às extremidades*

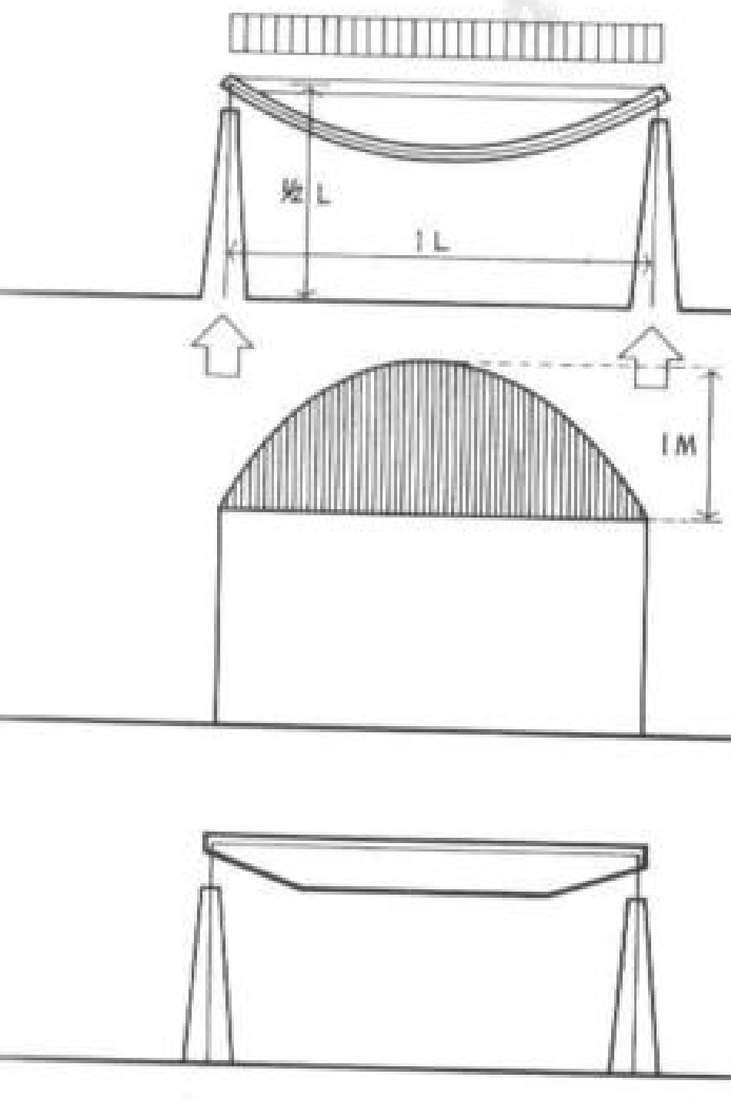
Tres vigas discontinuas con voladizos en los extremos: Distribución de tensiones idéntica en cada vano

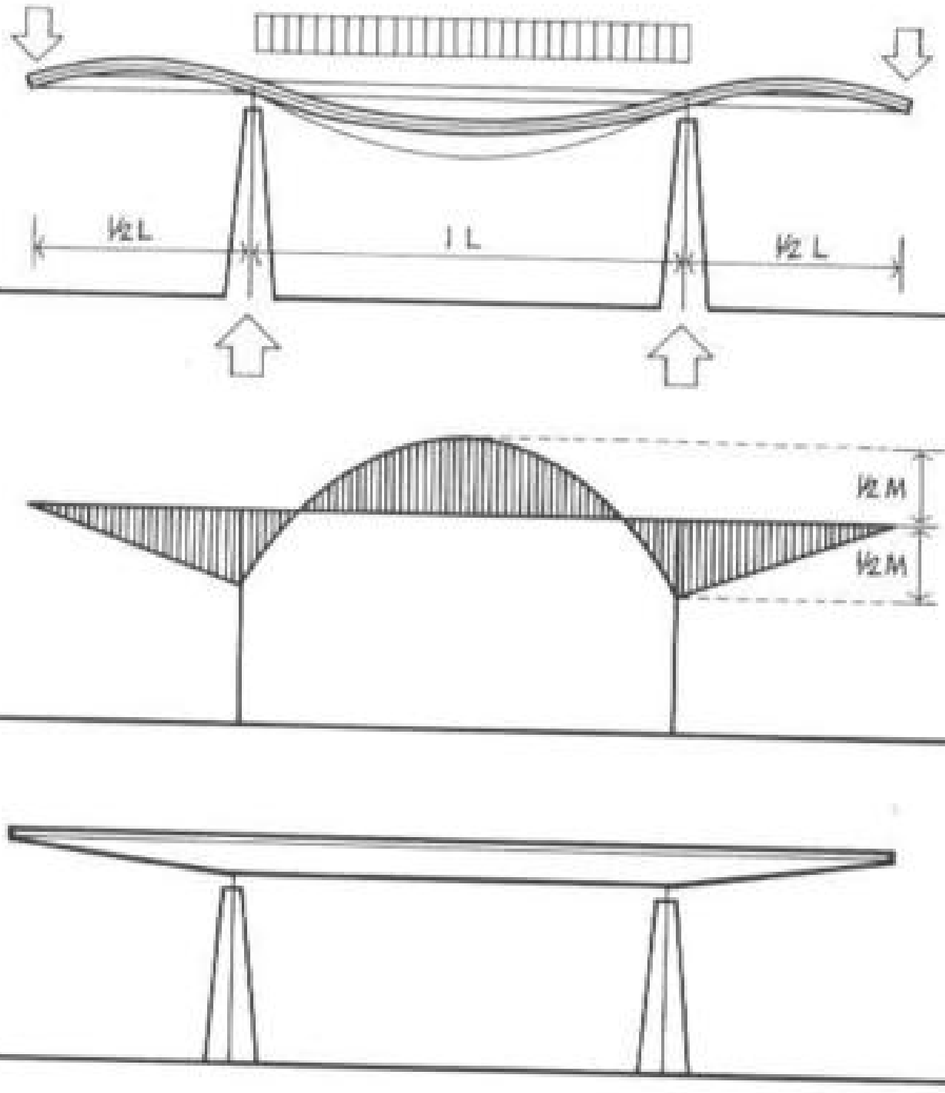
*Três vigas descontínuas com extremos em balanço. Distribuição uniforme dos esforços para cada vão*

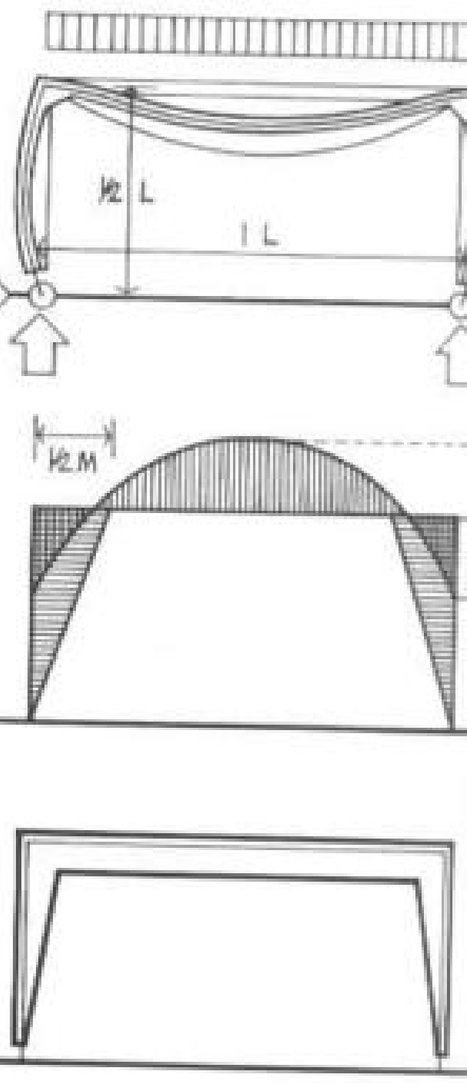


## Mecanismo de pórtico y su relación con la viga con voladizos

## Mecanismo de pórtico e sua relação com a viga com balanços



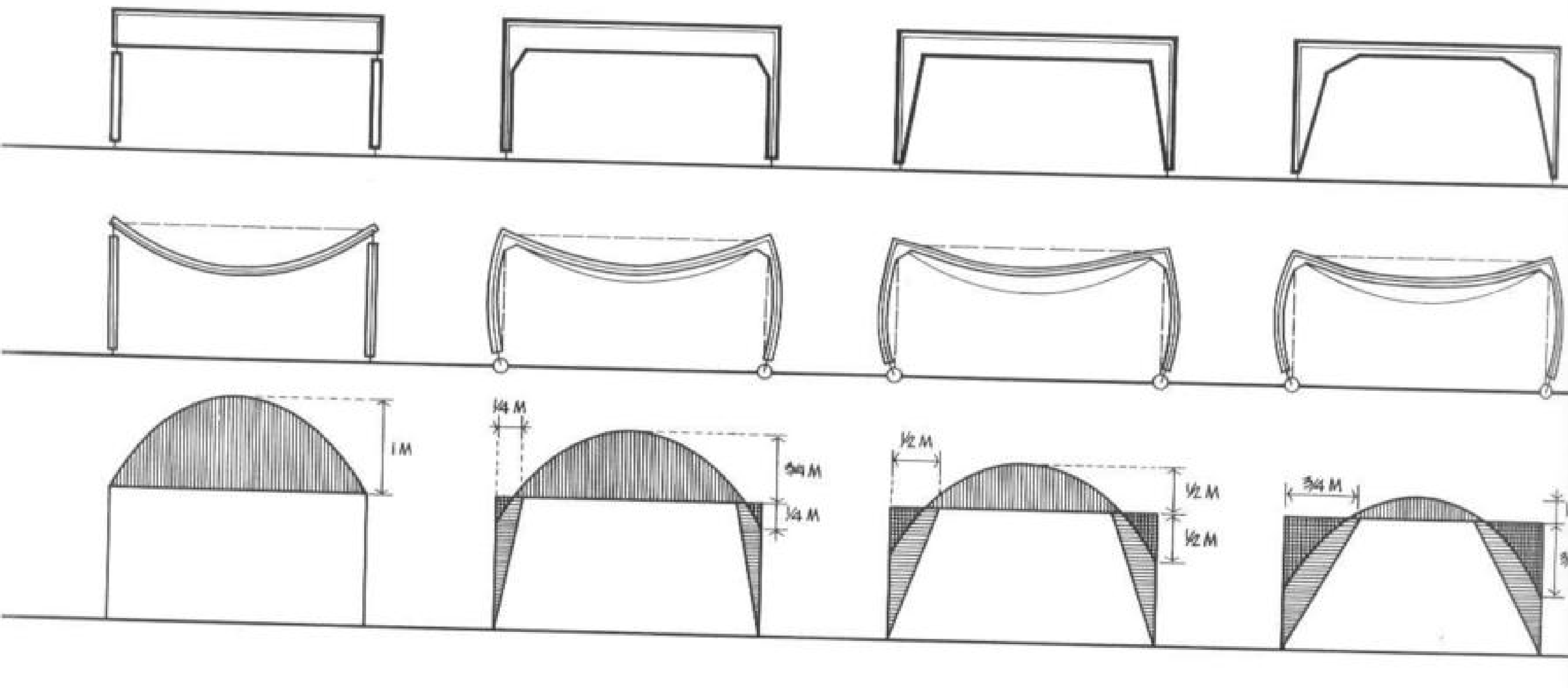




Las reacciones horizontales en los puntos de apoyo del pórtico limitan el giro en las esquinas y reducen la deformación por flexión de la viga del pórtico de la misma manera que lo hace una carga puntual en los extremos de una viga con voladizos.

As reações horizontais nas bases do pórtico obstruem a rotação dos cantos deste e reduzem a deflexão da viga, do mesmo modo que ocorre com cargas pontuais nas extremidades de uma viga com balanços.

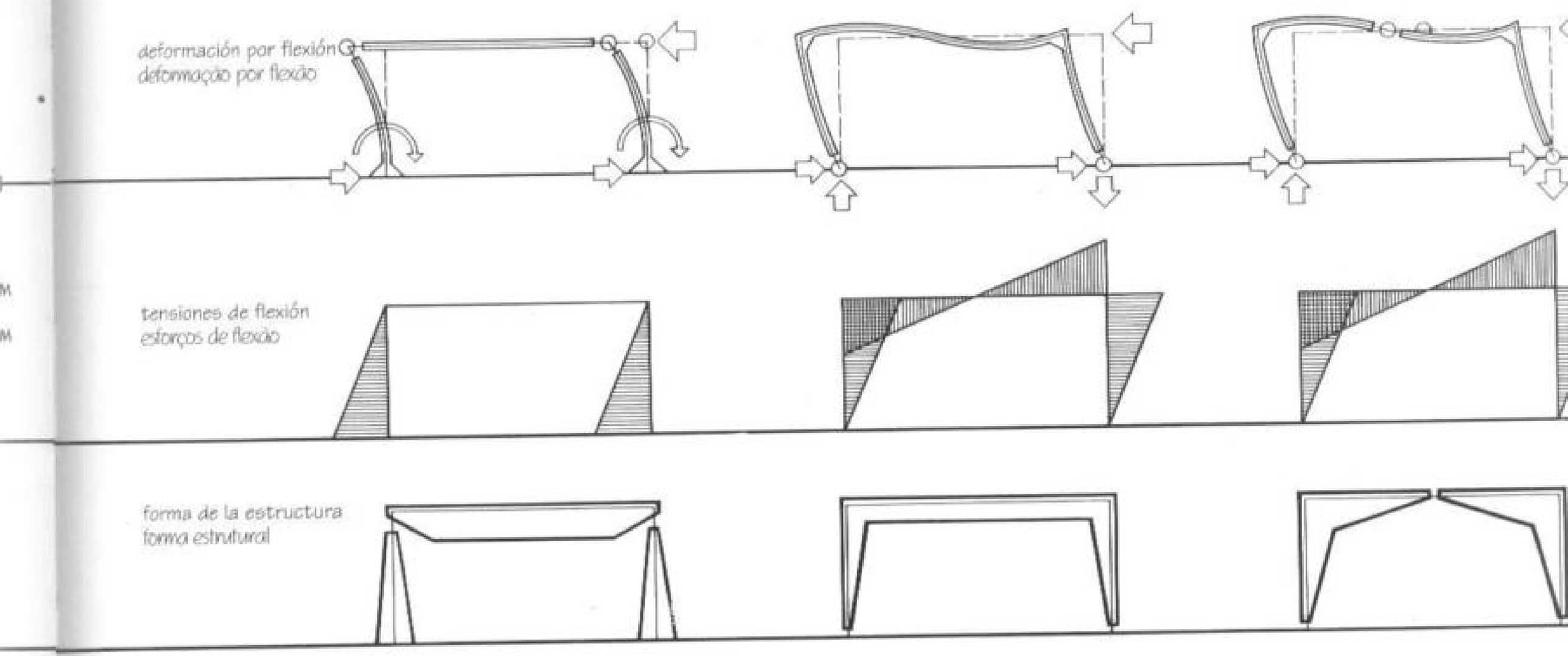
## Influencia de la rigidez del pórtico en la distribución de tensiones y forma de la estructura

Relación entre viga, pórtico biarticulado y pórtico triarticulado



## Mecanismo resistente frente a cargas laterales

## Mecanismo de resistência às forças laterais

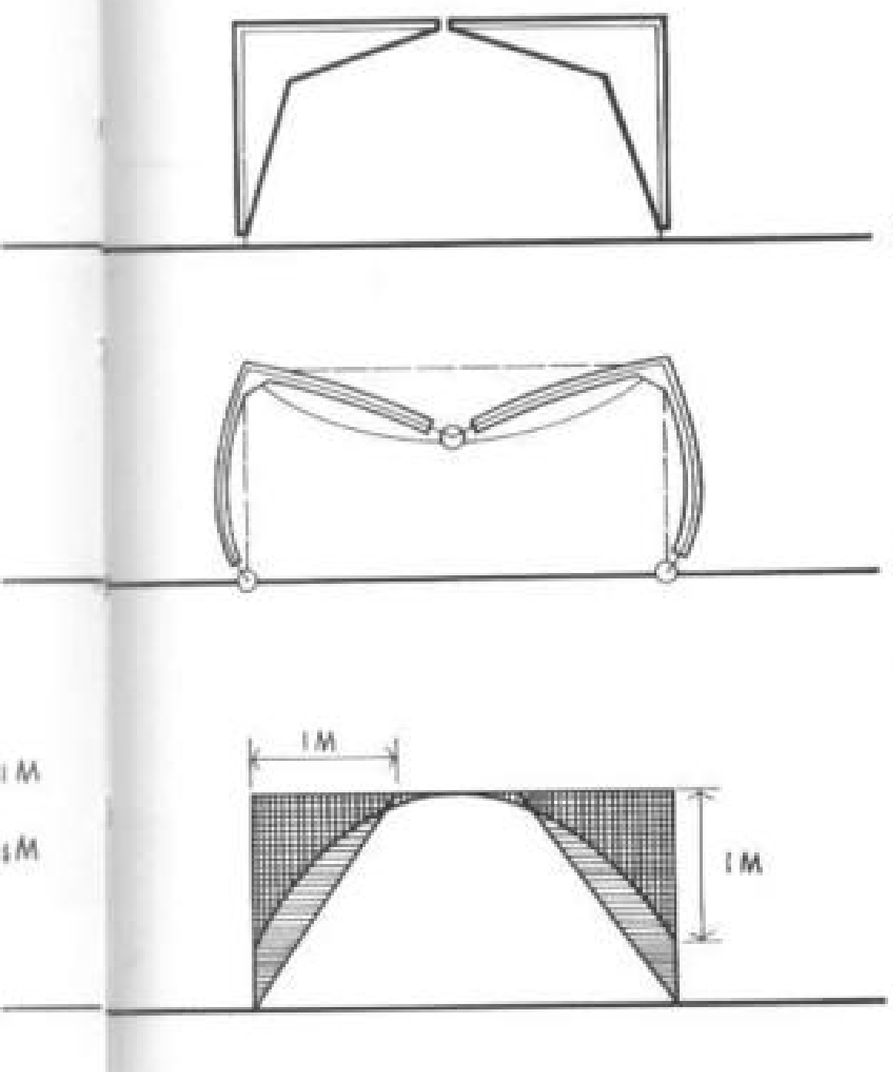



Al contrario que en el caso de una viga simple, que necesita una rigidización adicional de los soportes para absorber el momento de giro, en el pórtico articulado la propia deformación origina reacciones verticales en los apoyos que provocan un giro de sentido opuesto.

Ao contrário da viga simples, que requer enrijecimento adicional dos suportes para receber o momento de rotação, no pórtico rígido, por causa de sua própria deflexão, originam-se reações verticais que produzem uma rotação inversa.

## Influência da rigidez do pórtico na distribuição dos esforços e na forma da estrutura

### Relações entre viga, pórtico biarticulado e pórtico triarticulado




rigidez del pórtico — deformación por flexión — tensiones de flexión

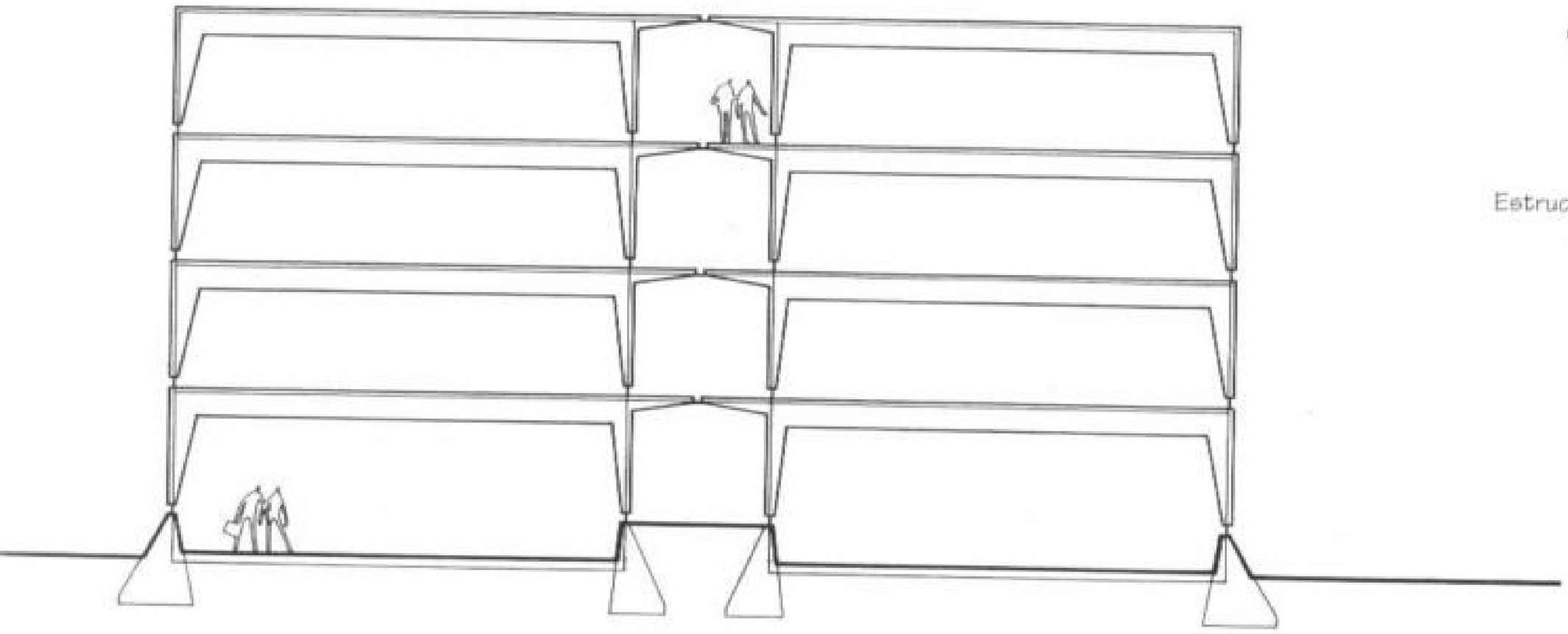
rigidez do pórtico — deformação por flexão — esforços de flexão

Debido a la continuidad de las esquinas del pórtico, la deformación de la viga puede reducirse mediante el grado de rigidez de los pilares. Esto revierte sobre el control del grado de deformación y, en consecuencia, sobre la forma de la estructura.

Por causa da continuidade nos cantos do pórtico, a deflexão da viga pode ser reduzida de acordo com o grau de rigidez da coluna. Isso leva ao controle sobre o grau de deflexão e, conseqüentemente, sobre a forma da estrutura.

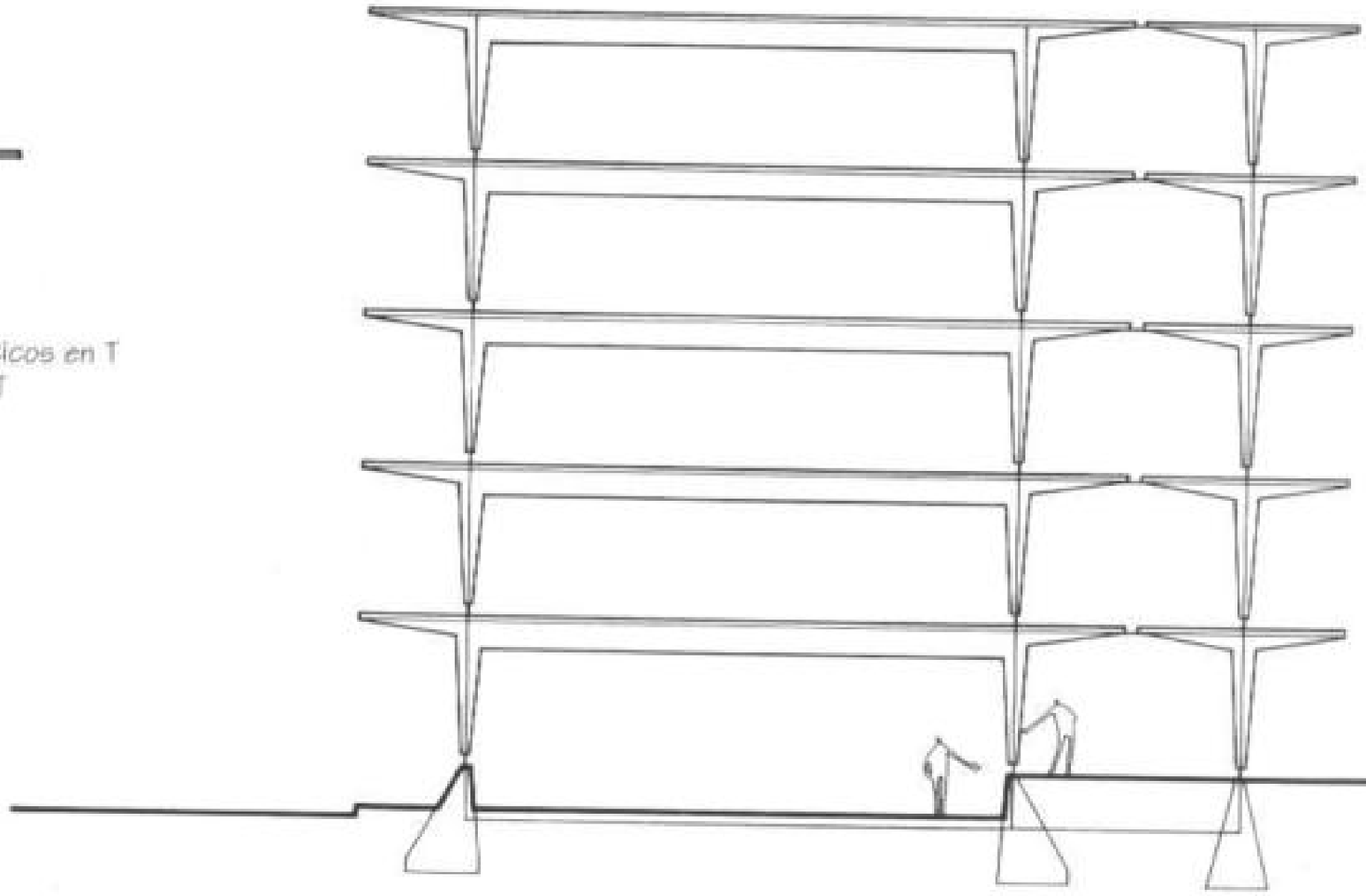
Estructuras horizontales y verticales compuestas de pórticos articulados

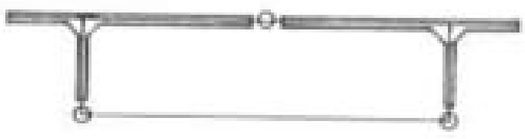
Sistemas estruturais horizontais e verticais compostos de pórticos articulados



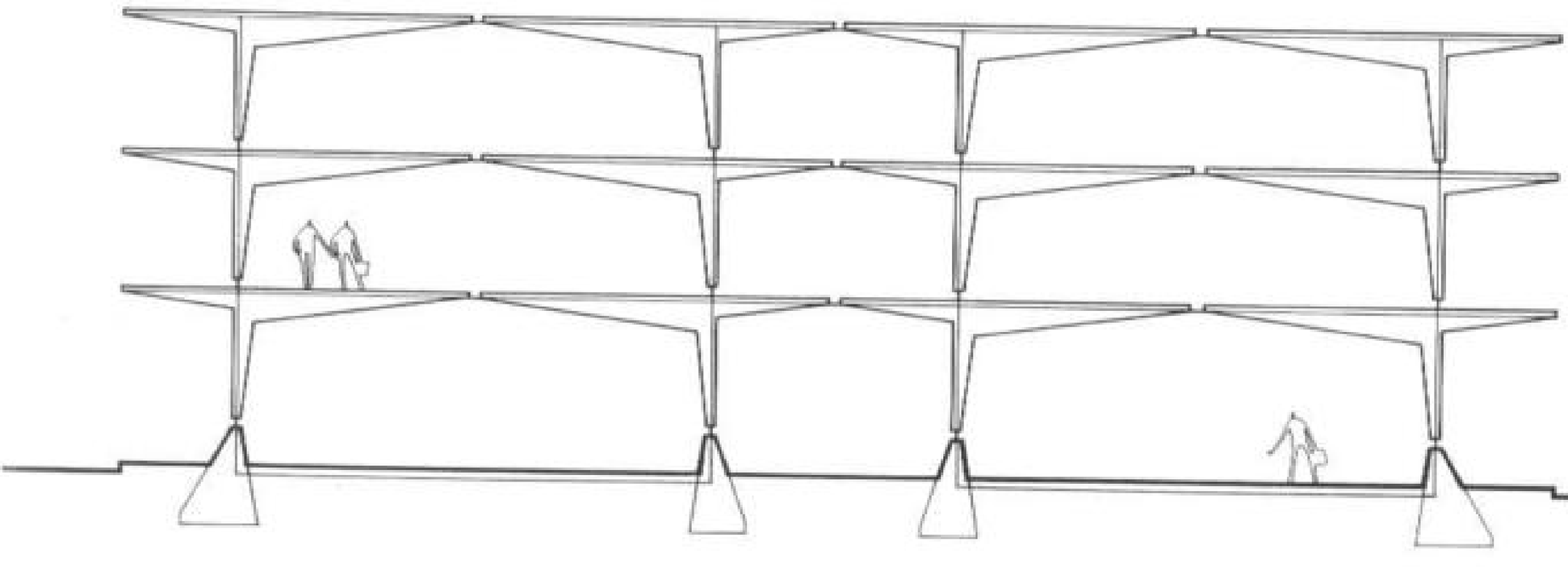
Estructura de pórticos biarticulados
Sistema de pórticos biarticulados

Estructura de pórticos biarticulados y pórticos en T
Sistema de pórticos biarticulados e pórticos em T



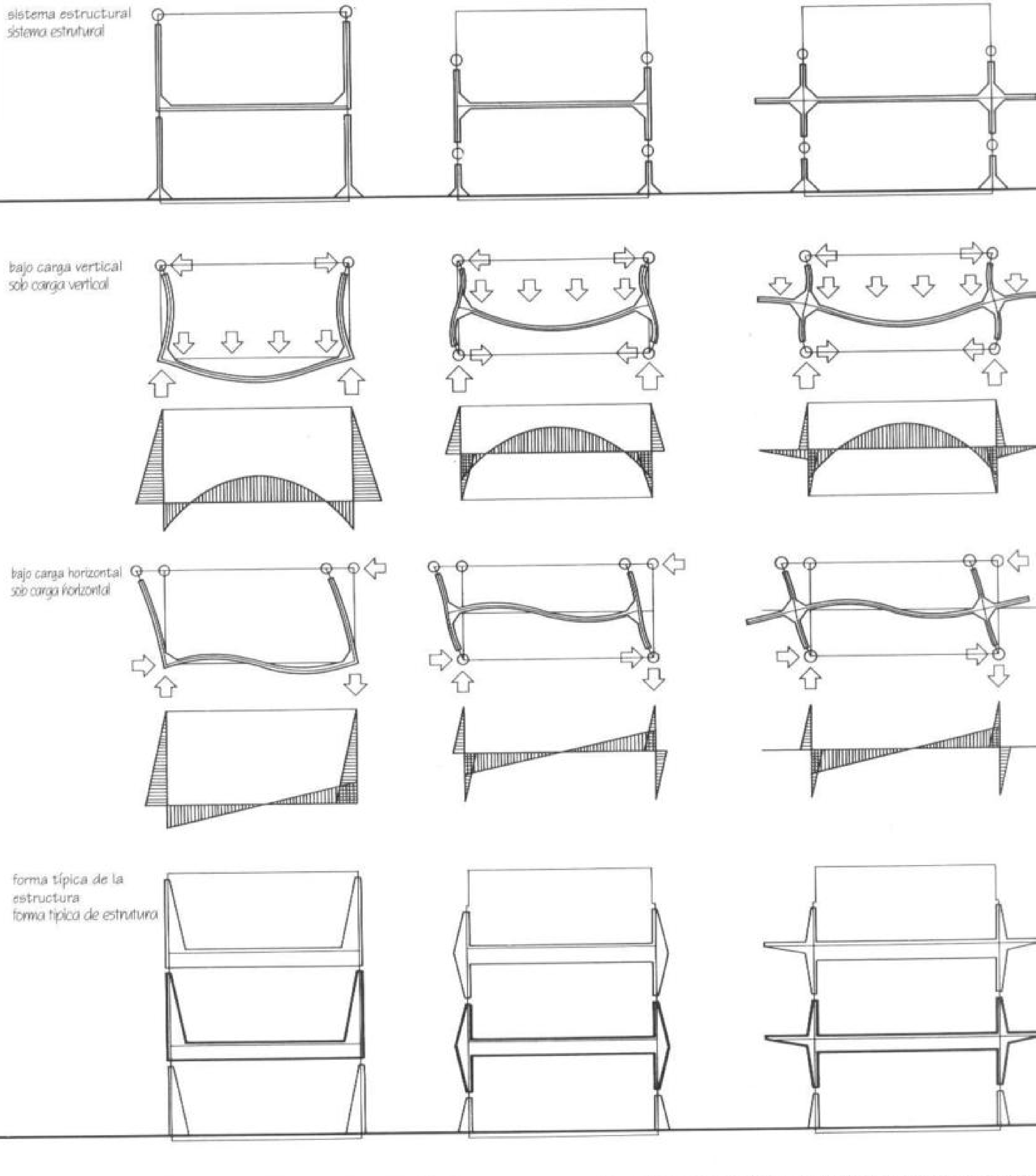


Estructura de pórticos triarticulados
Sistema de pórticos triarticulados



Mecanismo de pórtico biarticulado invertido y doblado

Mecanismo de pórtico biarticulado invertido e dobrado



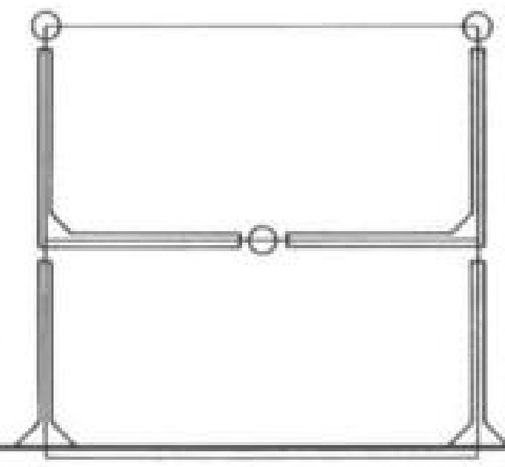

El mecanismo típico del pórtico biarticulado sigue siendo igual de eficaz después de invertirlo o doblarlo

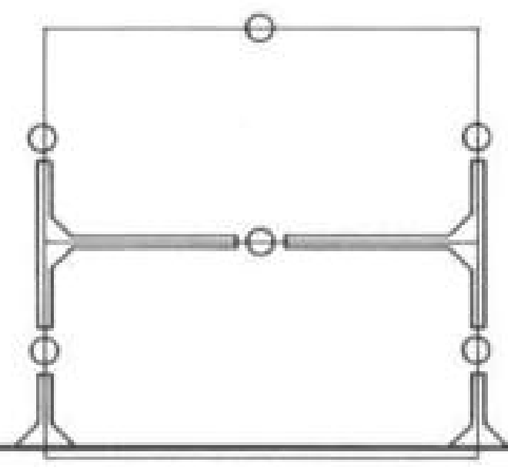
O mecanismo portante típico do pórtico biarticulado funciona com eficiên igual, mesmo após a inversão ou duplicação daquele

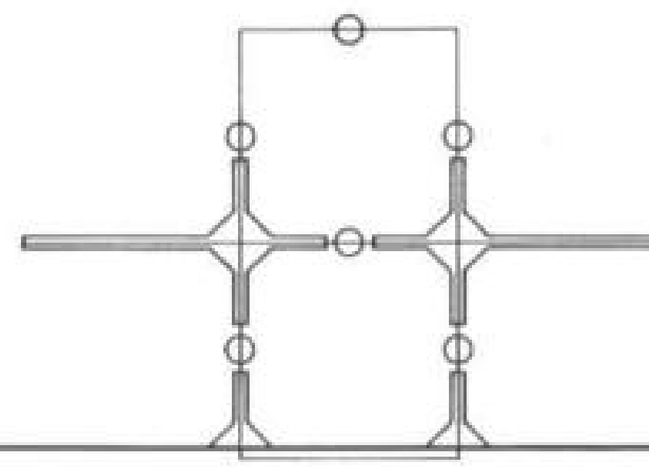
## Mecanismo de pórtico triarticulado invertido y doblado

## Mecanismo de pórtico triarticulado invertido e dobrad

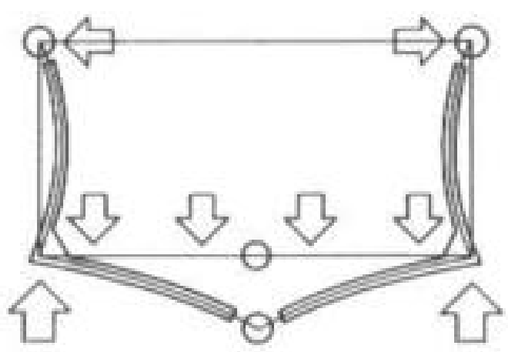
sistema estructural
*sistema estrutural*

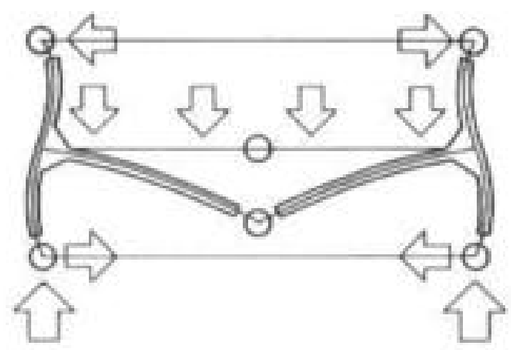


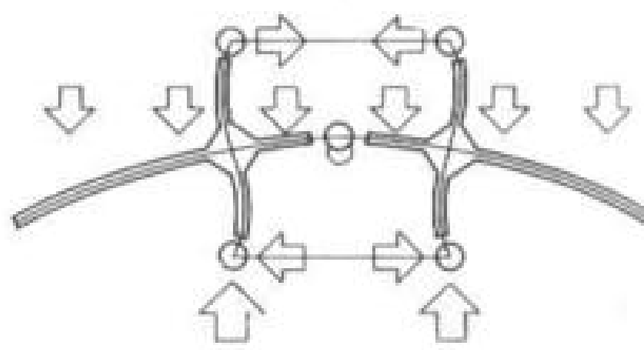


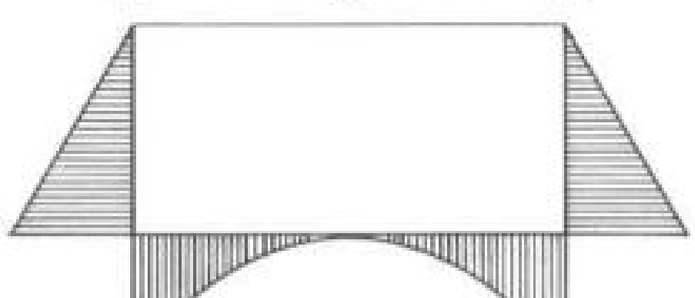


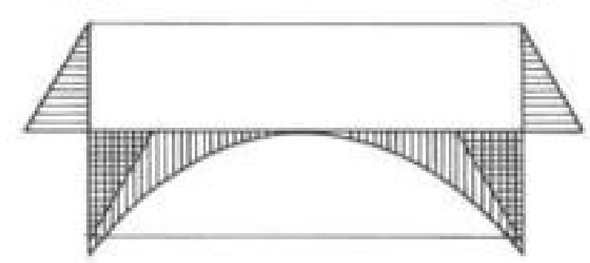
bajo carga vertical
*sob carga vertical*

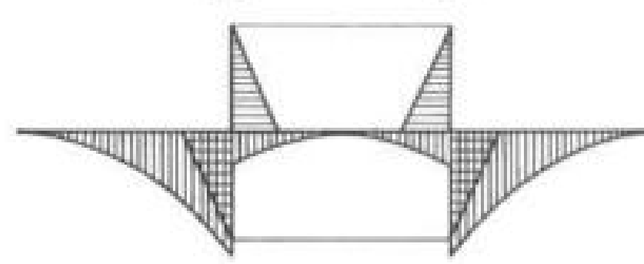




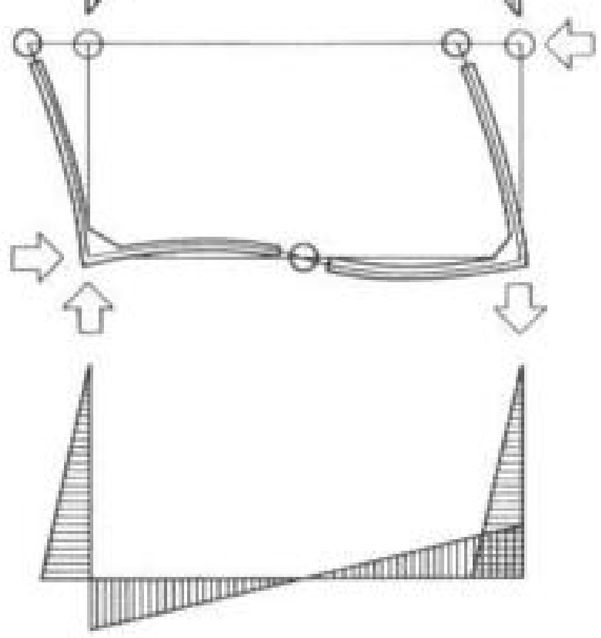


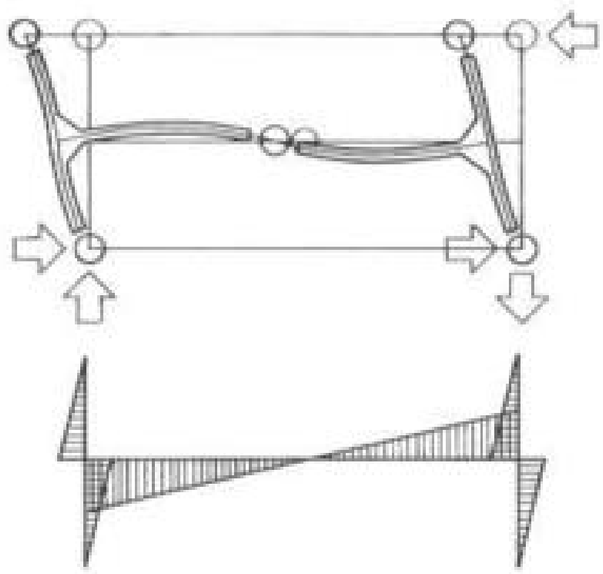


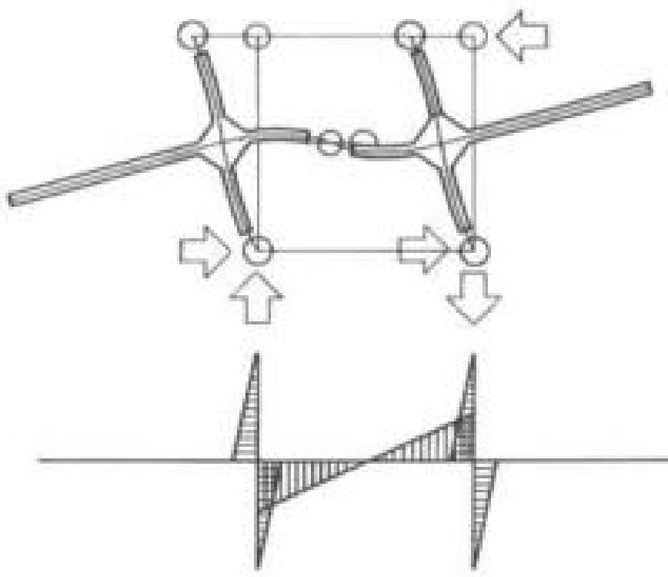




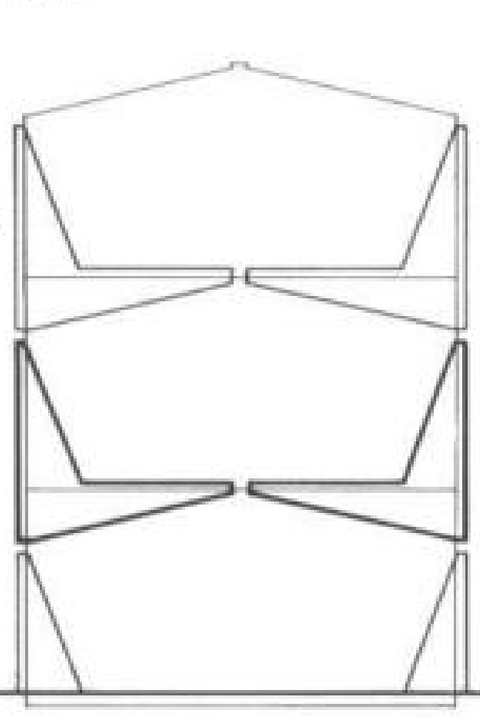
bajo carga horizontal
*sob carga horizontal*

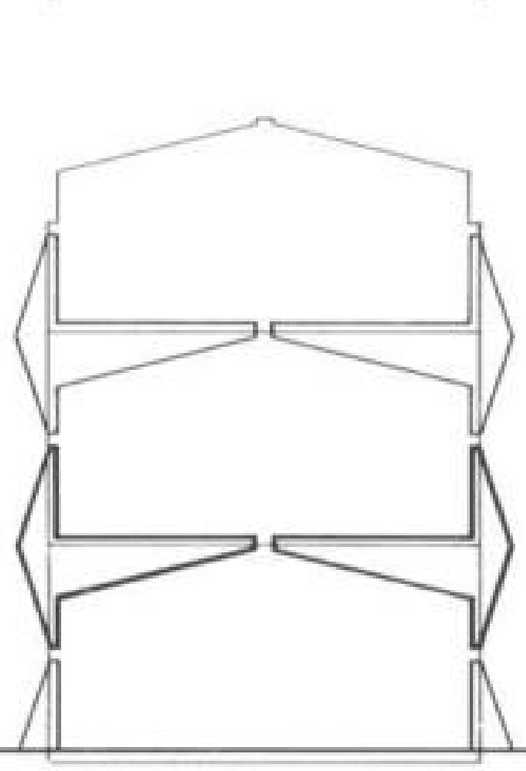


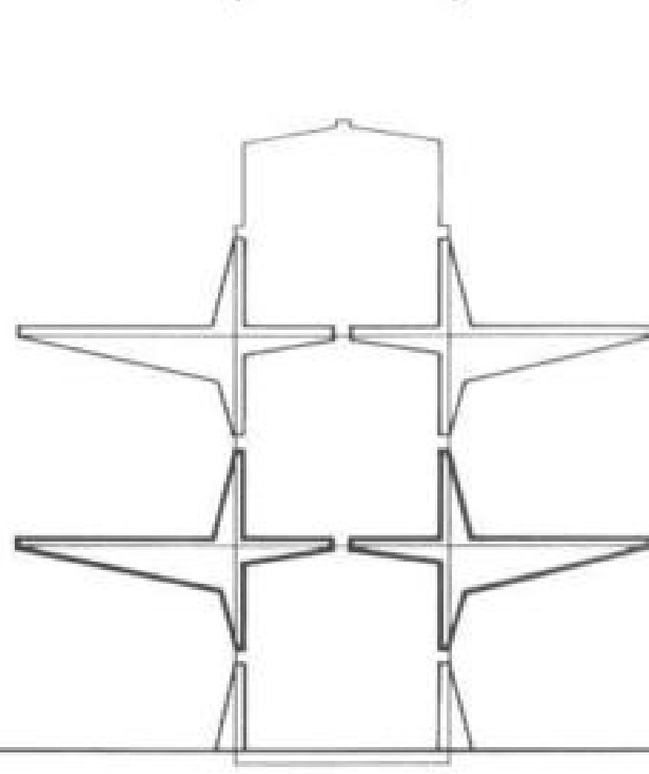




forma típica de la
estructura
*forma típica de estrutura*





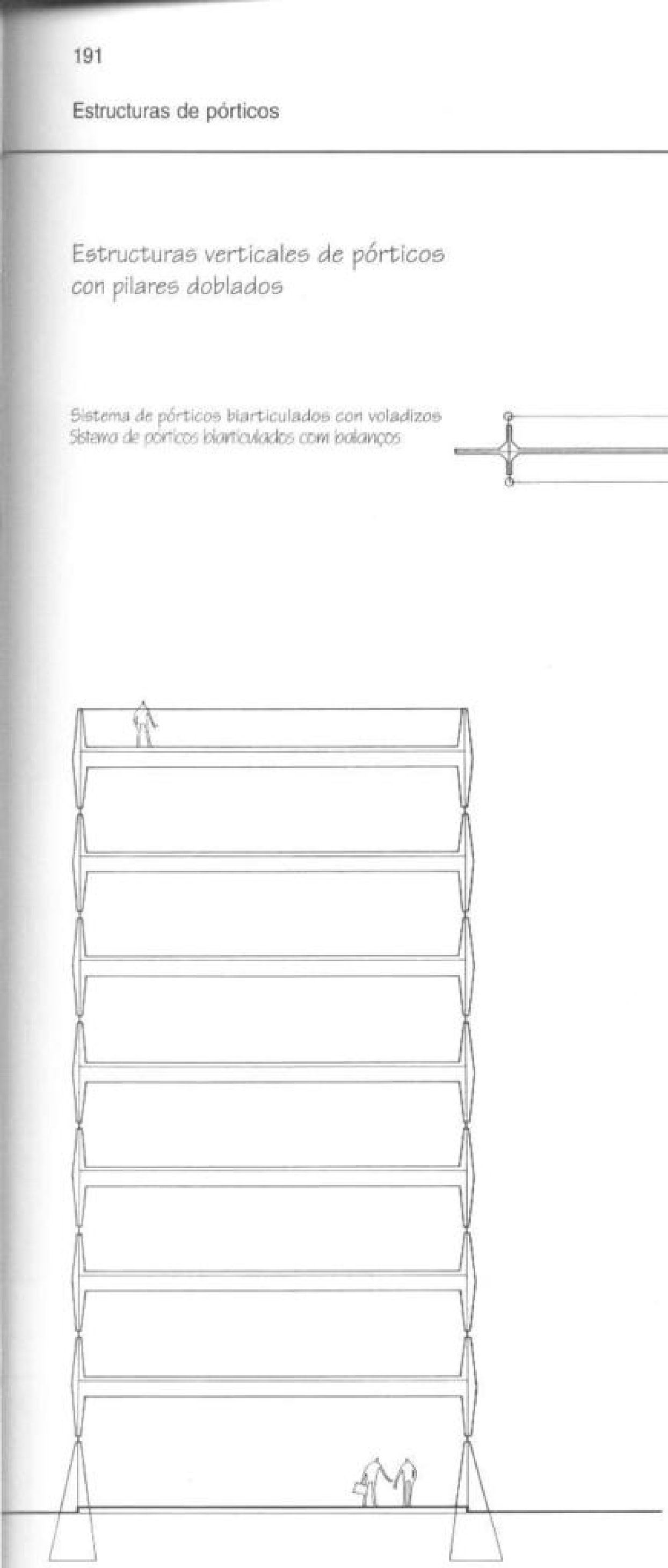


El mecanismo típico del pórtico triarticulado sigue siendo igual de eficaz después de invertirlo o doblarlo

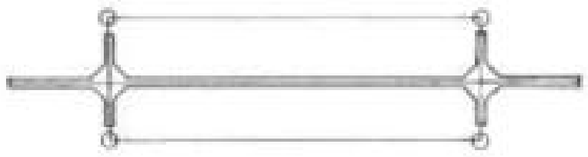
O mecanismo portante típico do pórtico triarticulado funciona com eficiênc
igual, mesmo após a inversão ou duplicação daquele

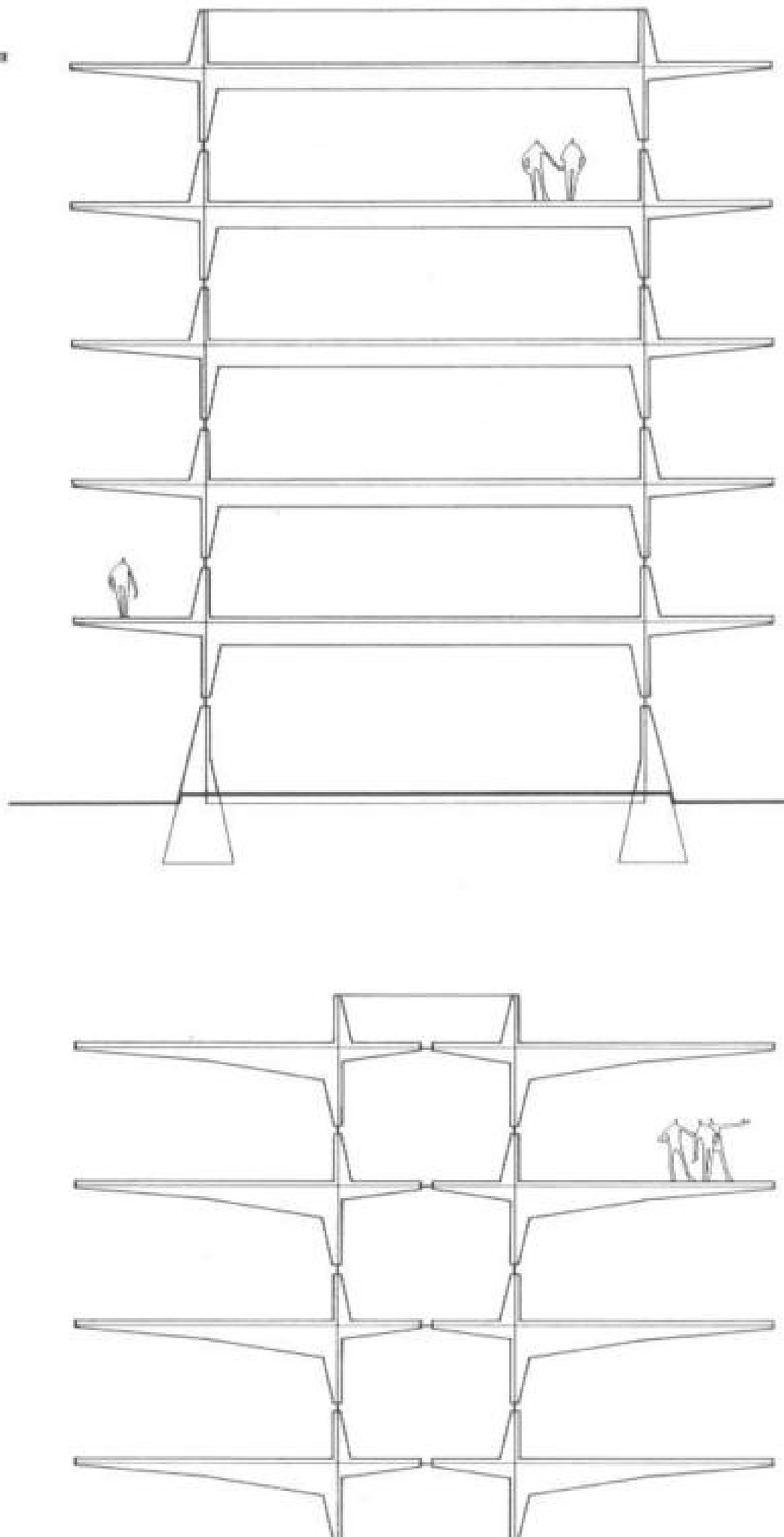
## Estructuras verticales de pórticos con pilares doblados

## Sistemas estruturais verticais compostos de pórticos com colunas duplas



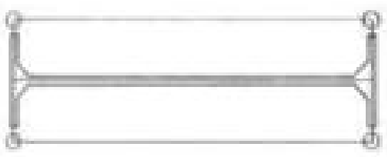
Sistema de pórticos biarticulados con voladizos
Sistema de pórticos biarticulados com balanços



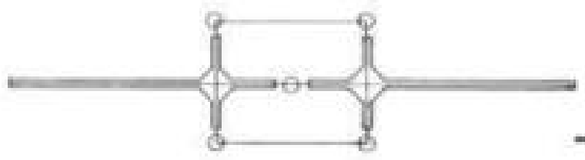




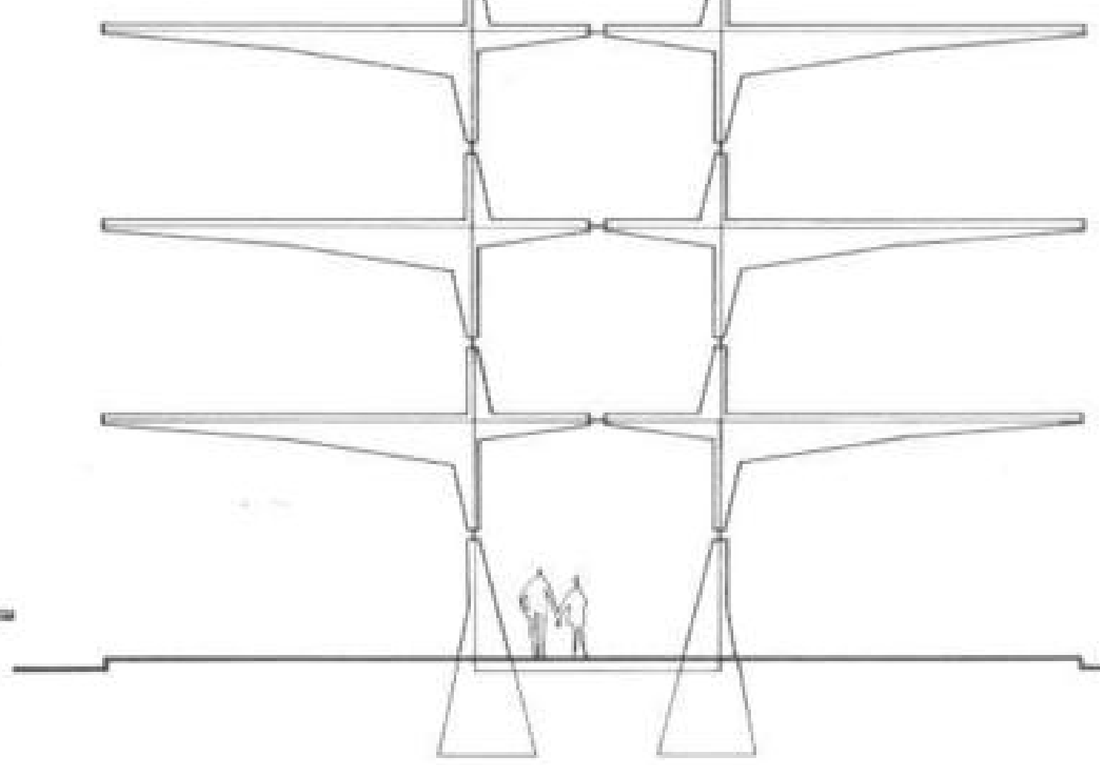




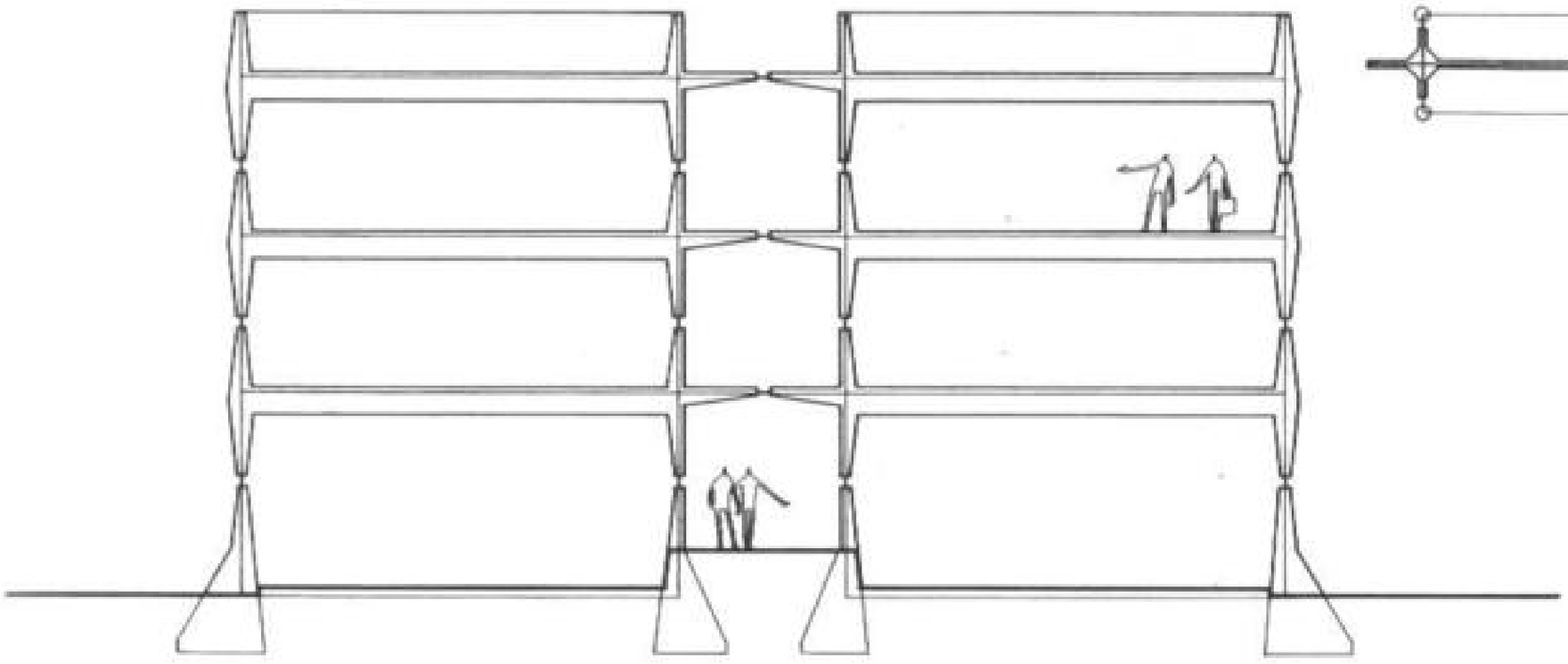
Sistema de pórticos biarticulados
Sistema de pórticos biarticulados



Sistema de pórticos triarticulados con grandes voladizos
Sistema de pórticos triarticulados com balanços

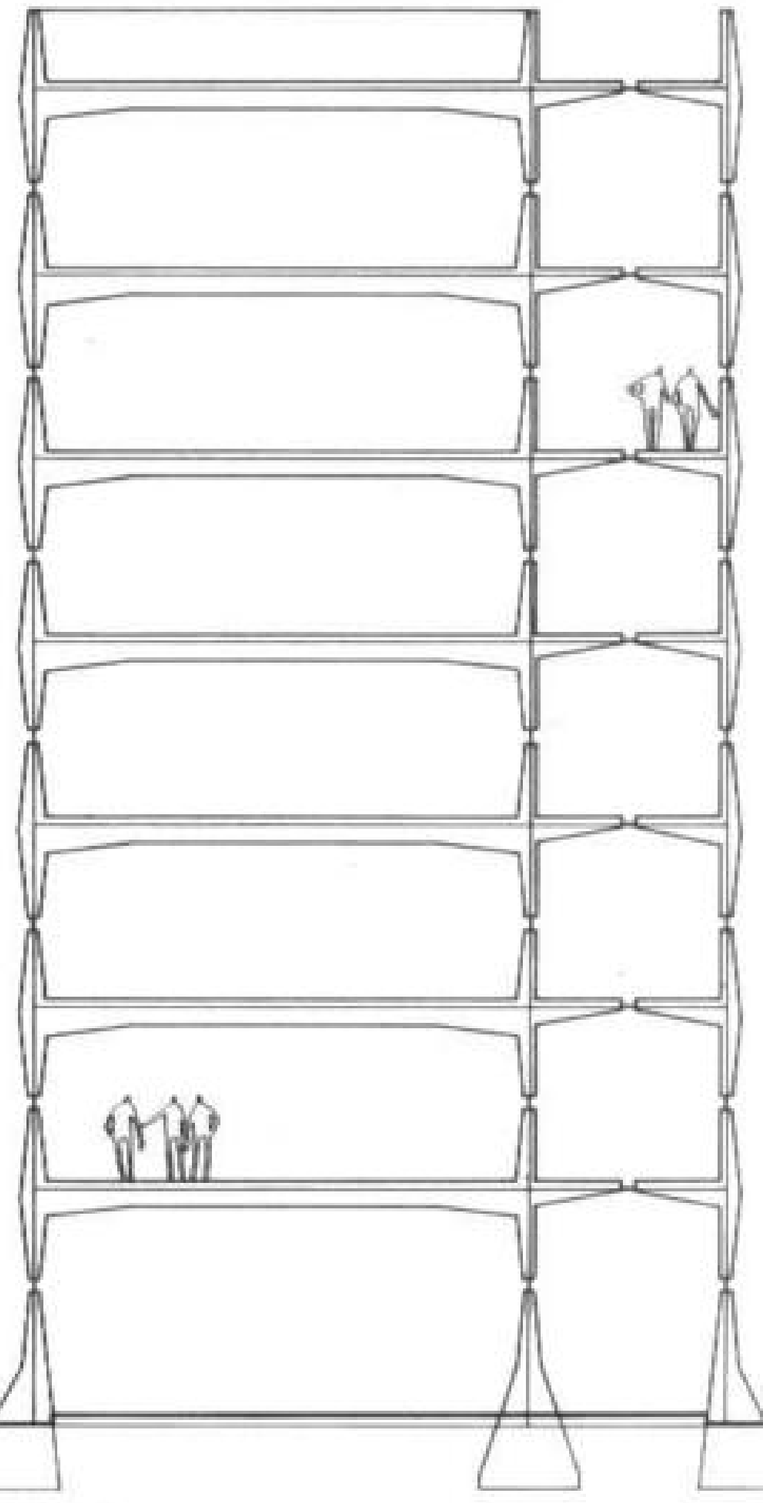


Estructuras de pórticos articulados con pilares doblados

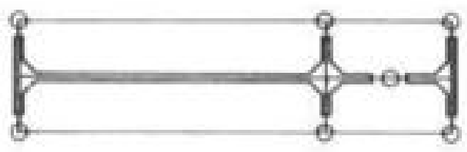


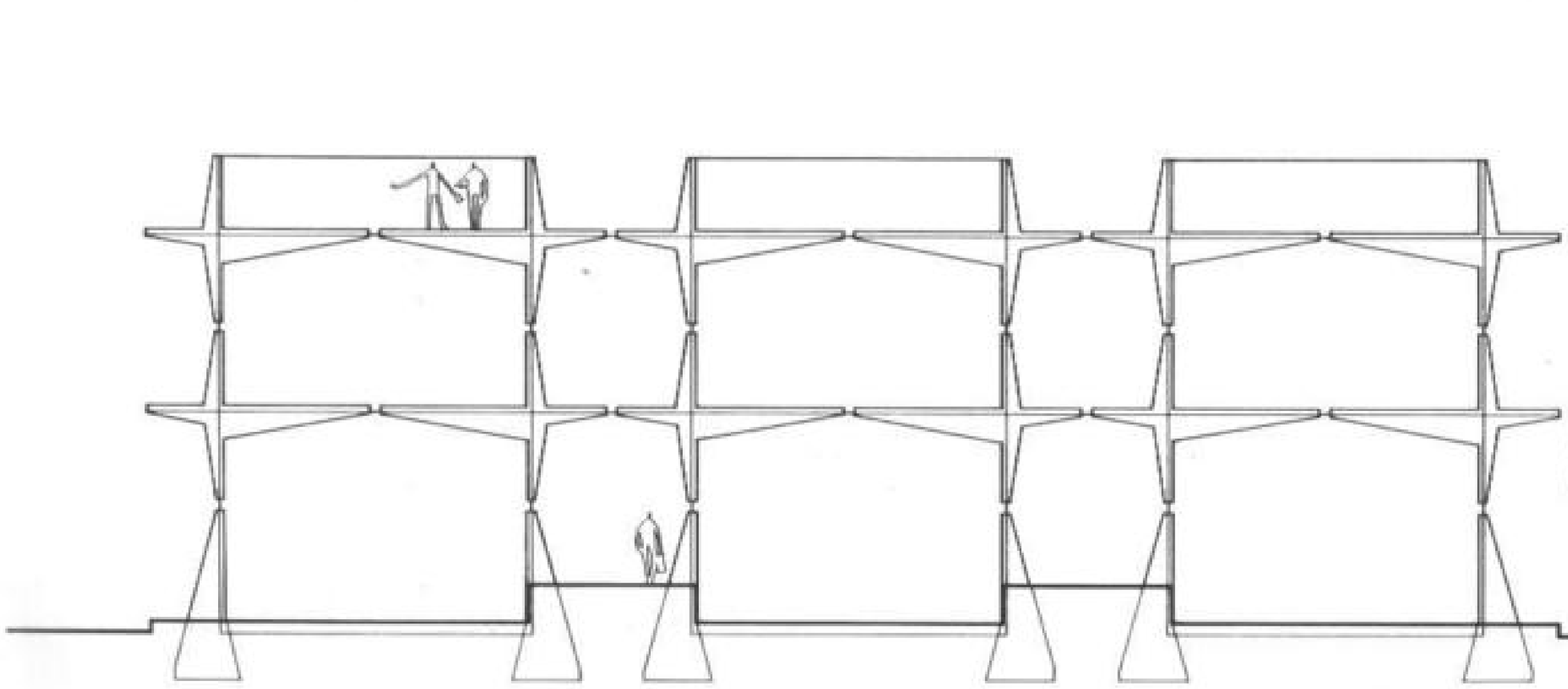
Sistemas estruturais compostos de pórticos articulados com colunas dupla

Sistema de pórticos biarticulados con un voladizo
Sistema de pórticos biarticulados com um balanço

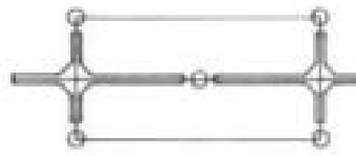


Sistema de pórticos biarticulados y semipórticos
Sistema composto de pórticos biarticulados e semipórticos



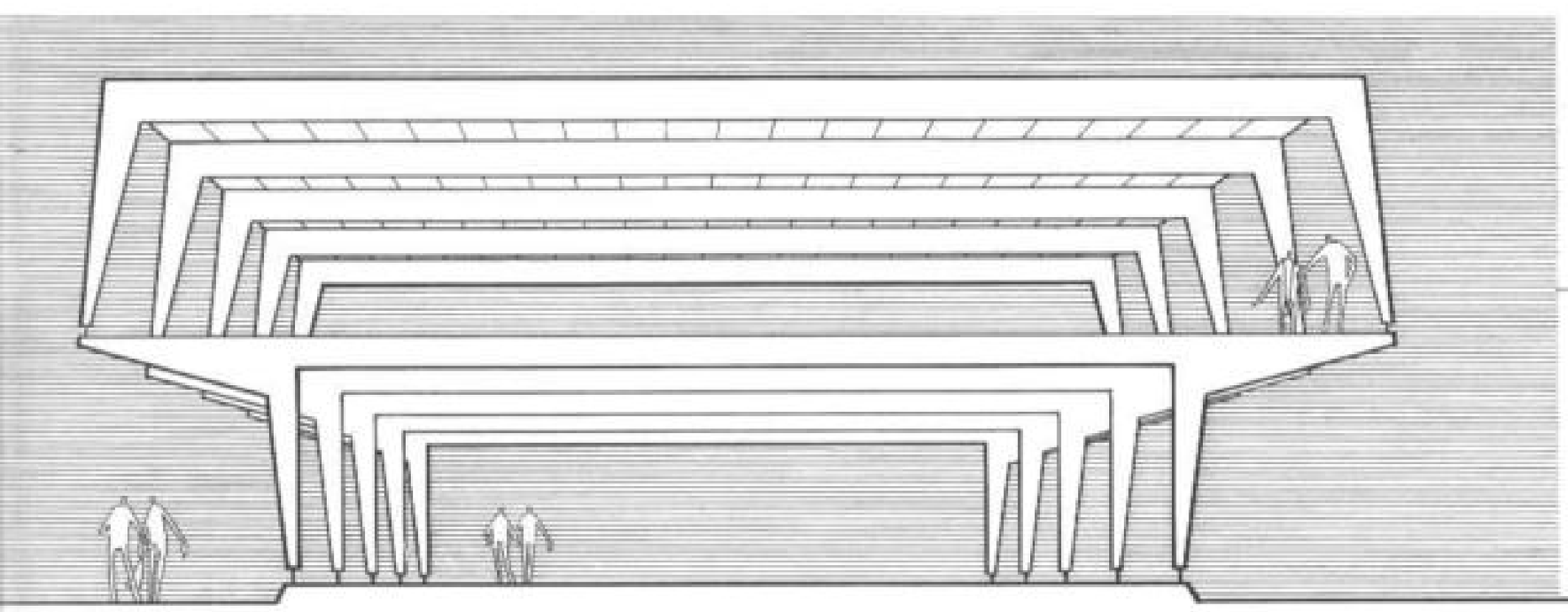


Sistema de pórticos triarticulados con voladizos
Sistema de pórticos triarticulados com balan

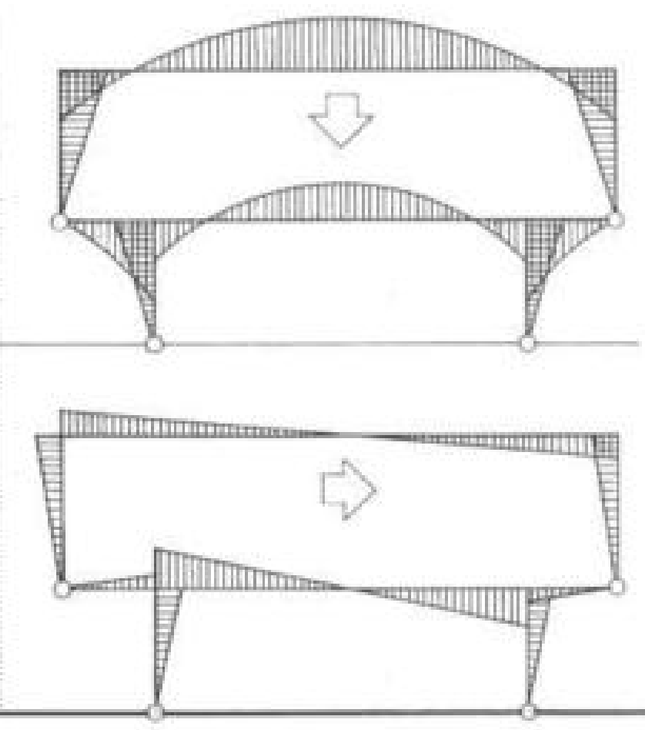


## Posibilidades formales de las estructuras de pórticos articulados

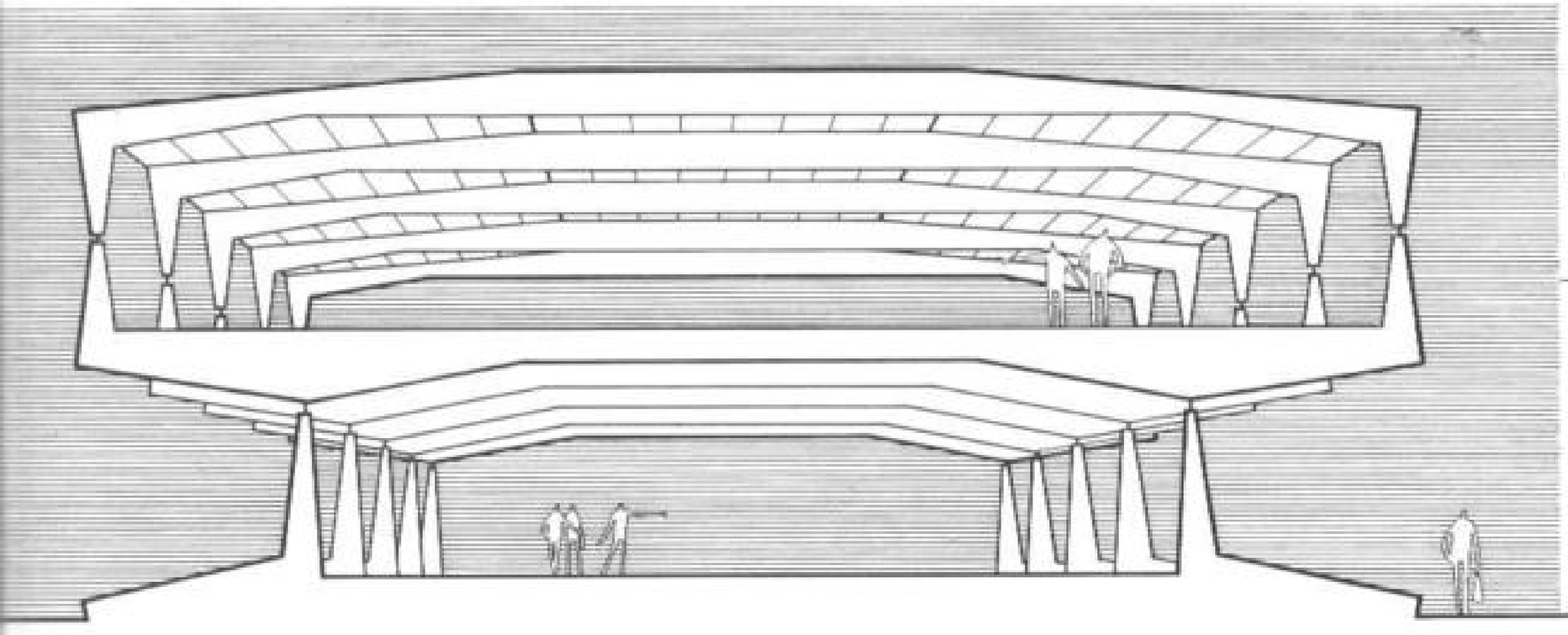
## Possibilidades de projeto com sistemas de pórtico articulados



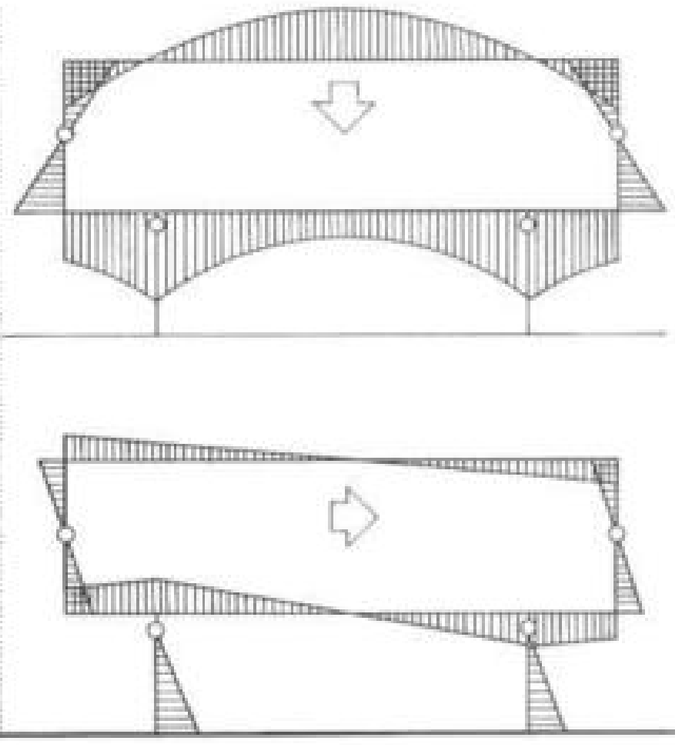
Pórtico biarticulado apoyado sobre los voladizos de otro pórtico biarticulado



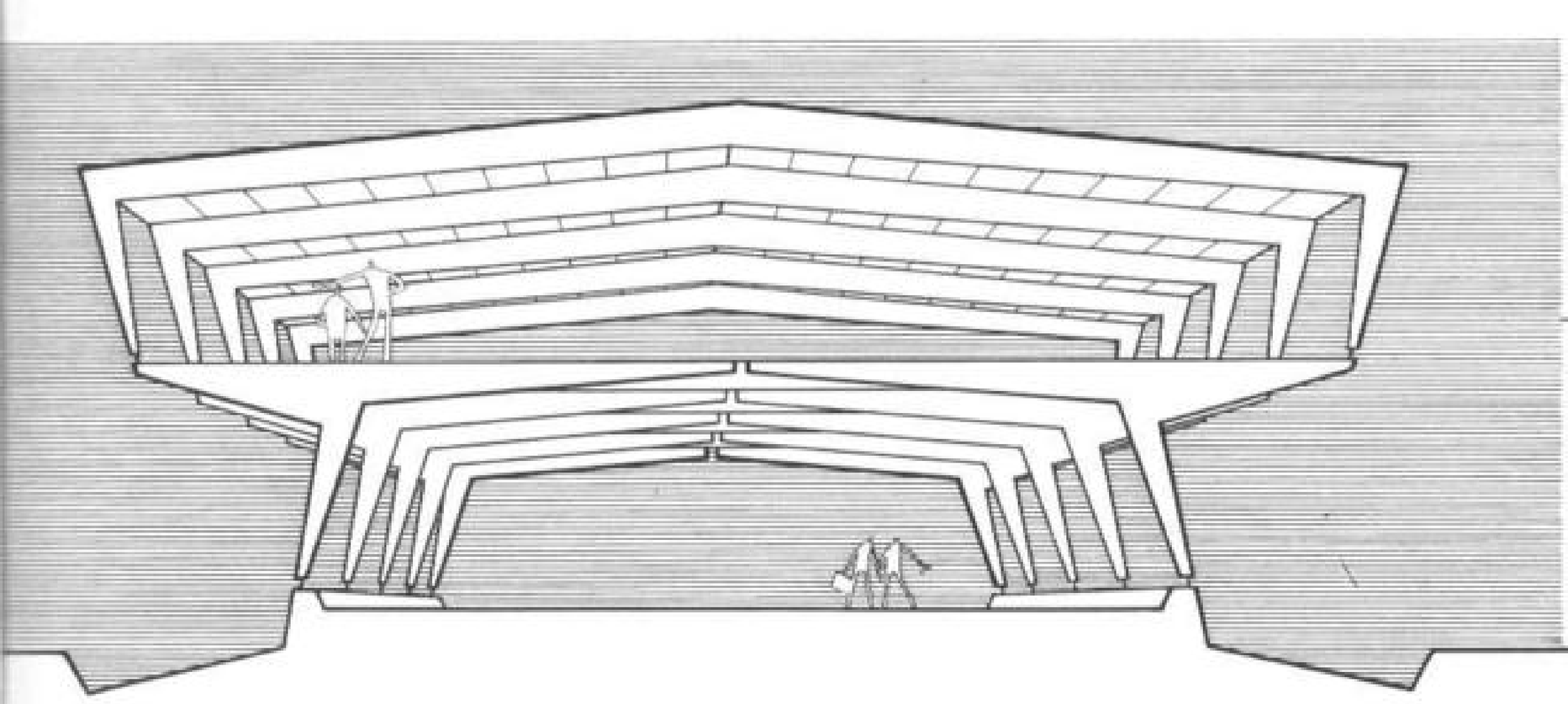
Pórtico biarticulado disposto sobre balanços de outro pórtico biarticulado



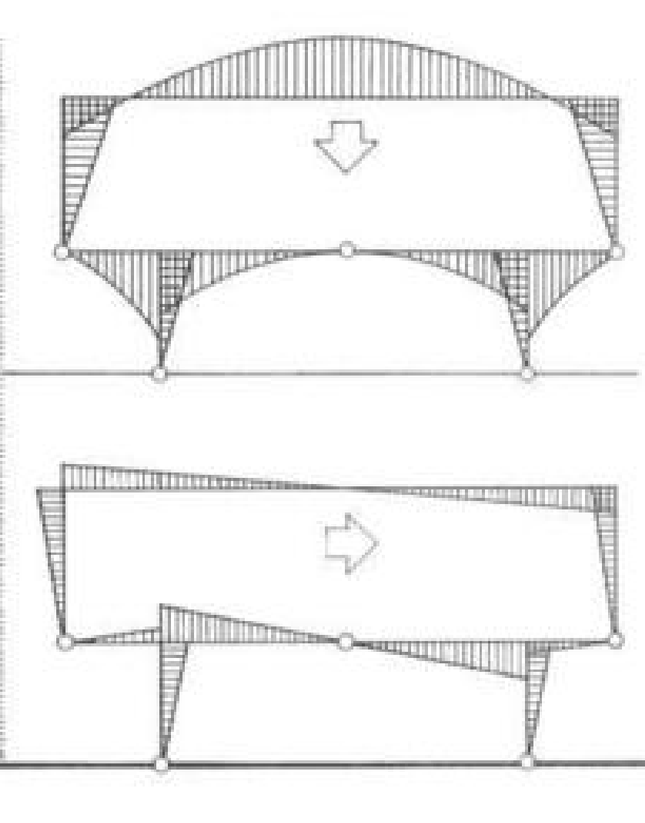
Pórtico biarticulado apoyado sobre un pórtico biarticulado invertido sobre pilares



Pórtico biarticulado disposto sobre outro pórtico biarticulado invertido sobre os suportes



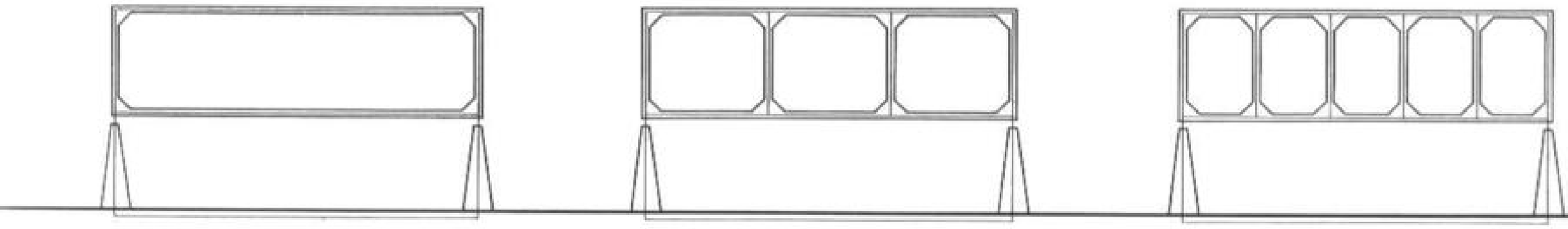
Pórtico biarticulado apoyado sobre los voladizos de un pórtico triarticulado



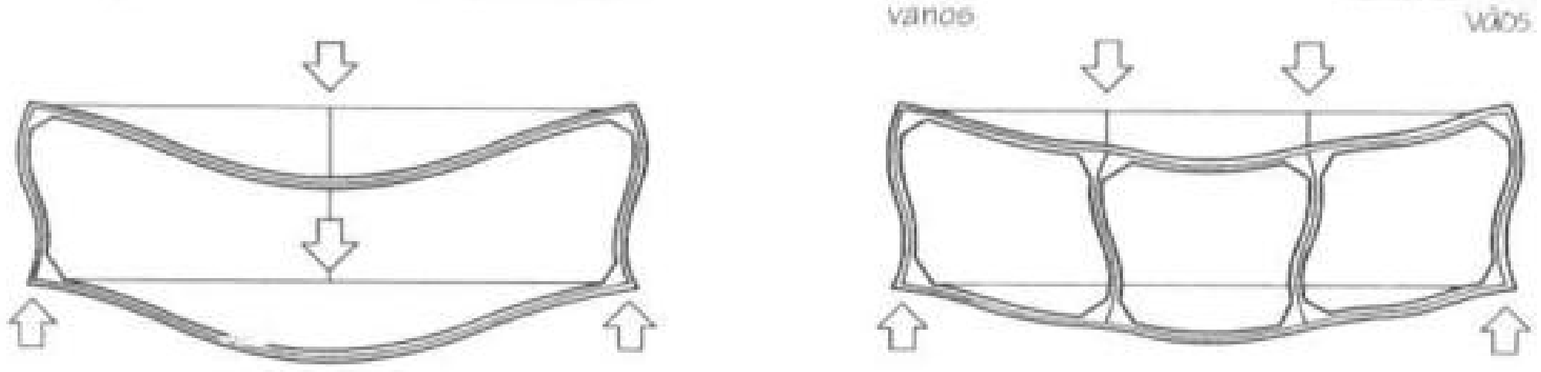
Pórtico biarticulado disposto sobre balanços um outro pórtico triarticulado

Mecanismo del pórtico de uno y varios vanos

Mecanismo de pórtico fechado de um e vários vãos

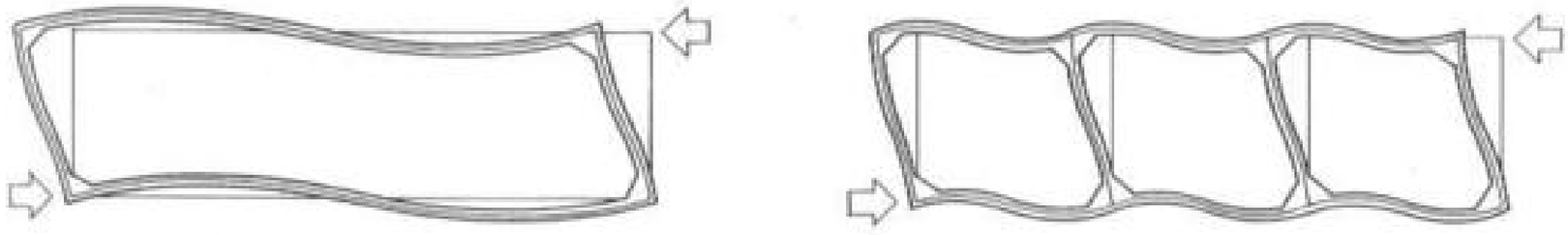


Pórtico de un vano
Pórtico de um vão
Pórtico de tres vanos
Pórtico de três vãos
Pórtico de cinco vanos
Pórtico de cinco vãos



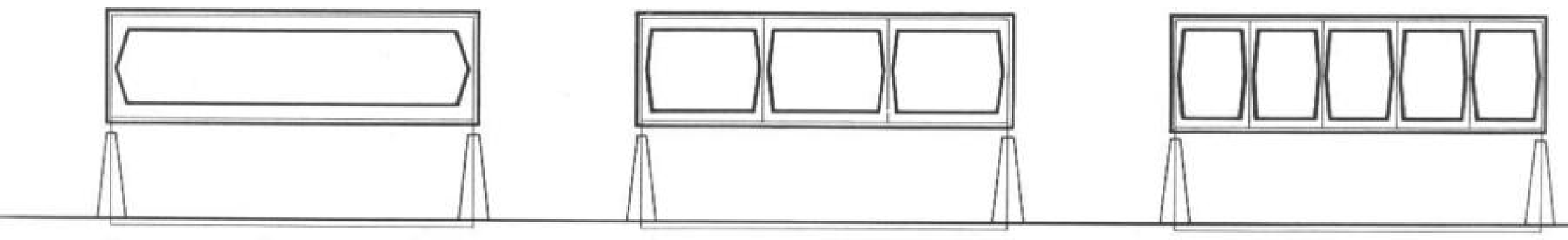
Deformación bajo carga vertical

Curva de deflexão baixo carga vertical



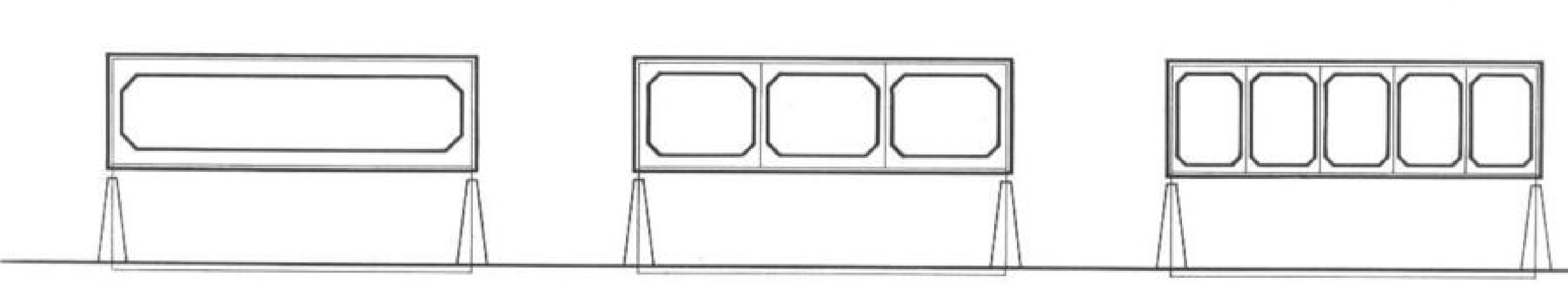
Deformación bajo carga horizontal

Curva de deflexão baixo carga horizontal



Forma estructural con acentuación del punto de menor flexión

Forma estrutural enfatizando o lugar de mínimos esforços de flexão



Forma estructural con acentuación de la rigidización en las esquinas

Forma estrutural enfatizando o enrijecimento dos cantos

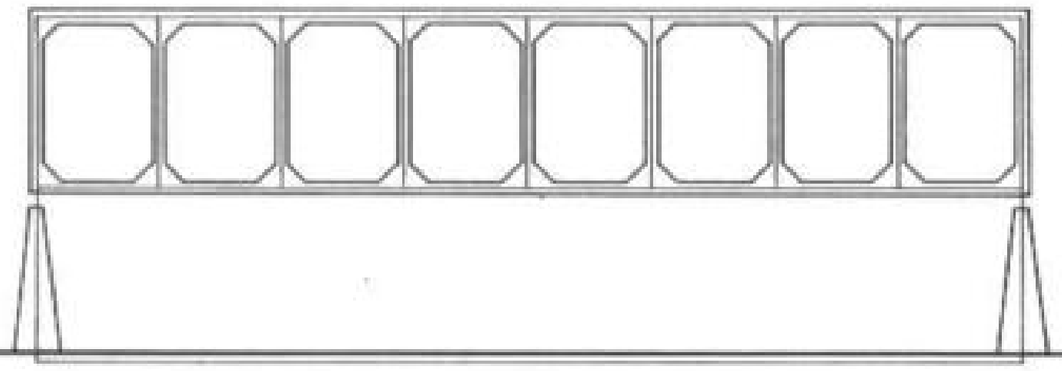
A causa de la deformación de las vigas, los extremos de los pilares giran en sentido contrario hacia arriba y hacia abajo. Con ello, el pilar absorbe el giro y se reduce la deformación por flexión. La eficacia aumenta cuanto mayor sea el número de pilares (vanos).

Em virtude da curvatura por deflexão, as extremidades das colunas girarão a extremidade superior em direção à extremidade inferior. Essa rotação será suportada pelas colunas, impedindo a deflexão. A eficiência aumenta com o número de colunas (vãos).

## Relación entre reparto de vanos y el mecanismo del pórtico de varios vanos

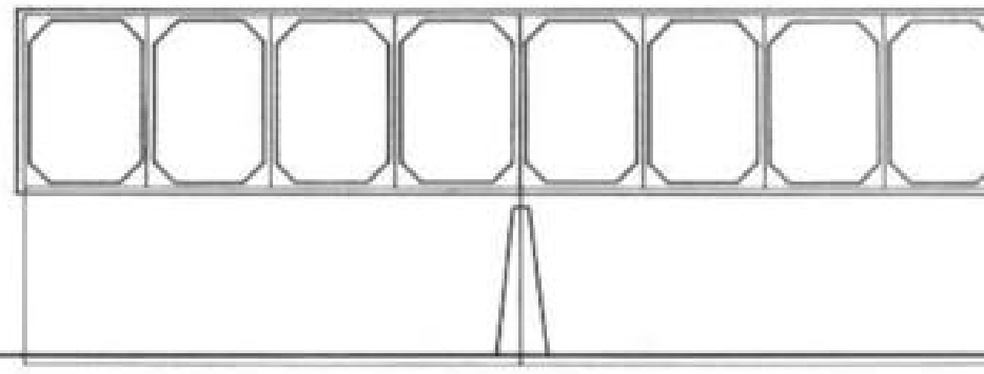
## Relação entre o projeto dos vãos e o mecanismo do pórtico de vários vãos

sistema estructural
sistema estrutural



Pórtico de varios vanos sobre dos pilares

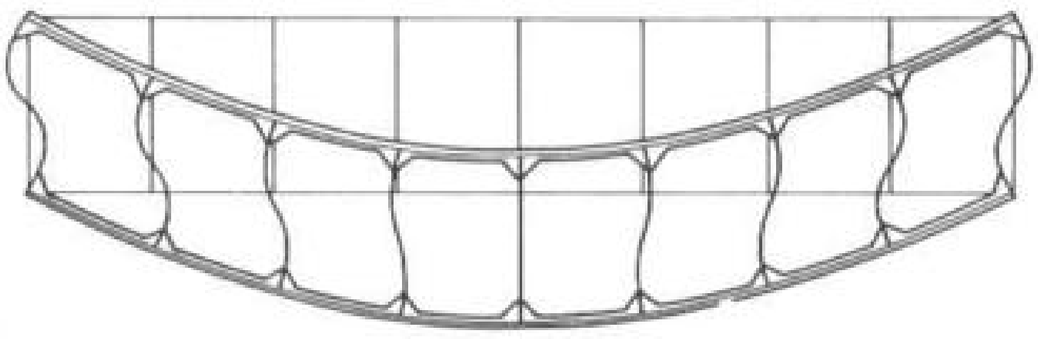
Pórtico de vários vãos apoiado nas extremidades



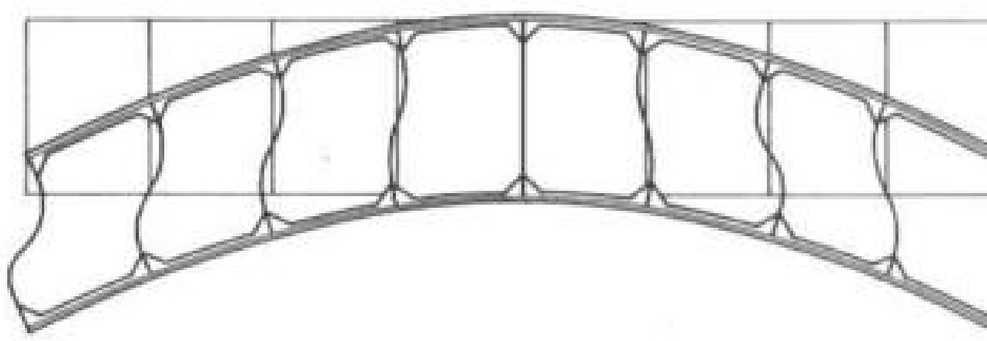
Pórtico de varios vanos sobre un pilar

Pórtico de vários vã sobre apoio centr

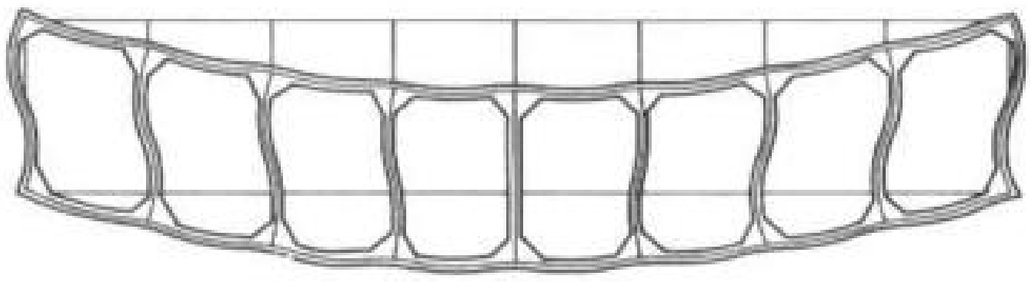
deformación
deflexão



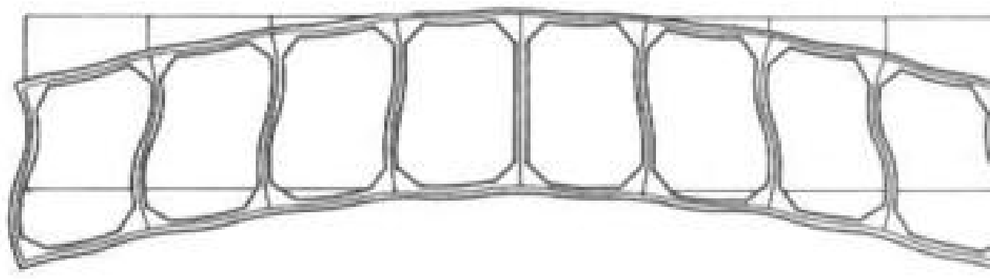
estructura con pilares sin rigidez a flexión



sistema com colunas sem resistência à flex

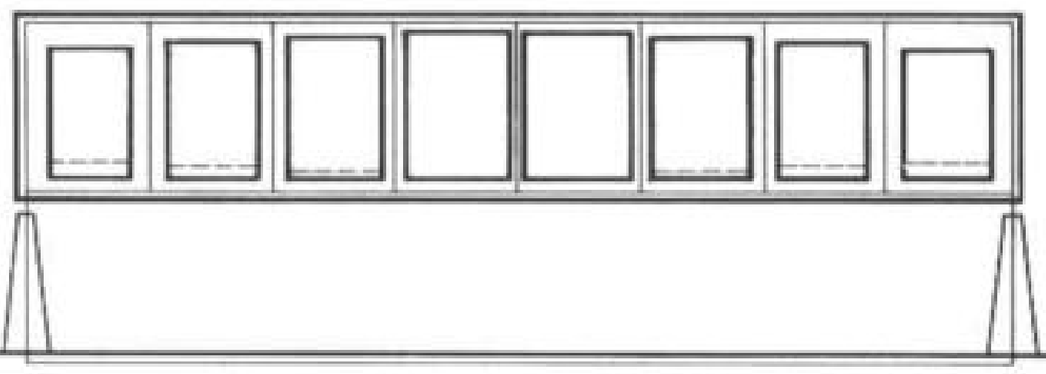


estructura con pilares resistentes a flexión

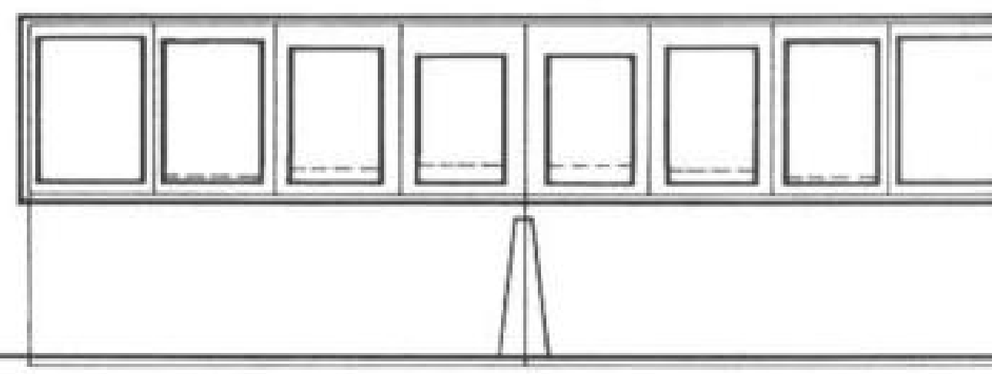


sistema com colunas resistentes à flex

forma típica de la estructura
forma estrutural típica

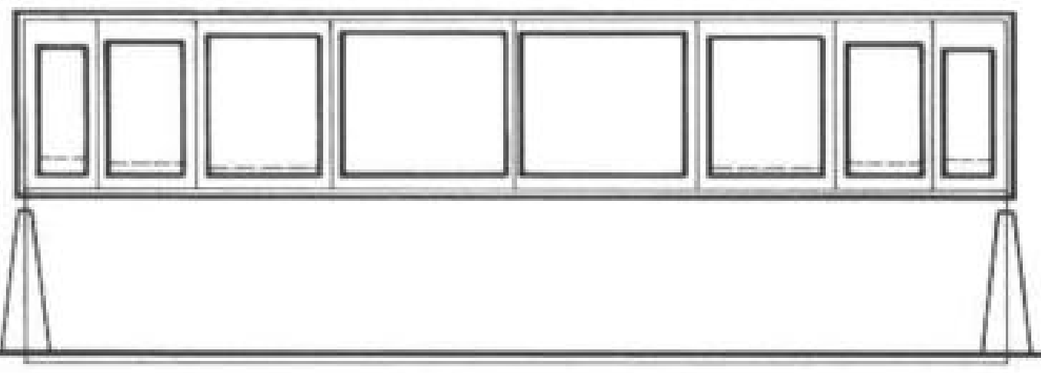


Ensanchamiento de los montantes hacia los apoyos en un pórtico de vanos de igual luz

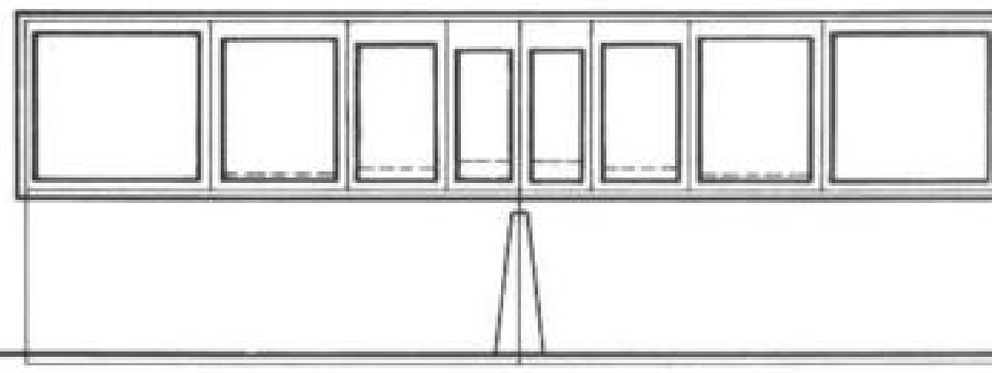


Aumento da seção da coluna em direção aos apoi com espaçamento regular entre colun

forma típica de la estructura
forma estrutural típica



Reducción de la luz de los vanos más cercanos a los apoyos, manteniendo los montantes constantes



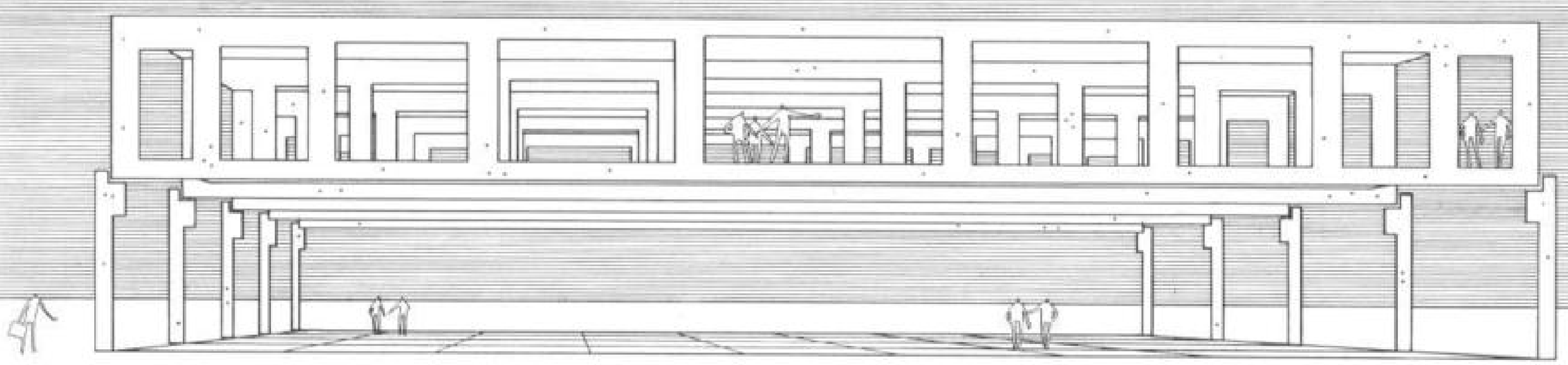
Redução da largura dos vãos mais próximos aos apoios, com colun de mesma seçã

De acuerdo con la distribución de los esfuerzos cortantes en una viga, la solicitación a flexión en los montantes es muy desigual. La diferencia puede evitarse disminuyendo la luz de los vanos hacia los apoyos o ampliando la anchura de los montantes.

De acordo com a distribuição de esforço cortante em uma viga, as colunas subme tem-se a graus de flexão muito variados. Essa variação pode ser suprimida pe redução da largura do vão na direção dos apoios, ou pelo aumento da seção d coluna.

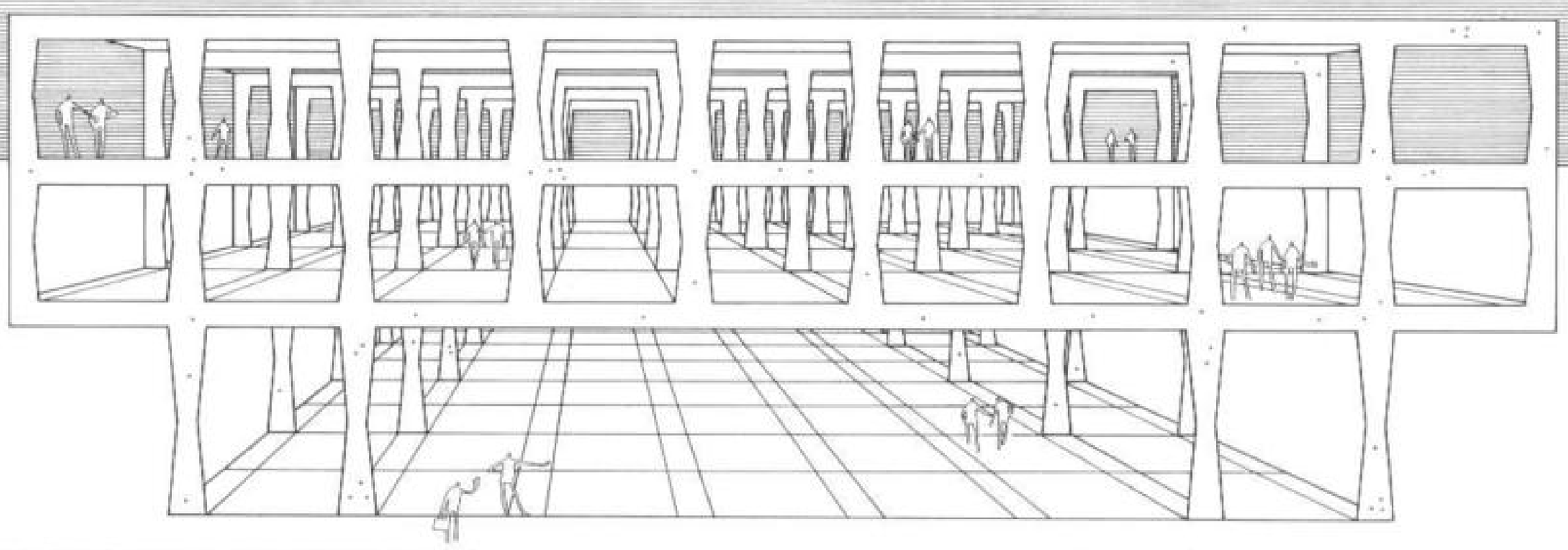
Estructuras de grandes luces con pórticos de varios vanos

Sistemas estruturais de longos vãos compostos de pórticos de vários vãos



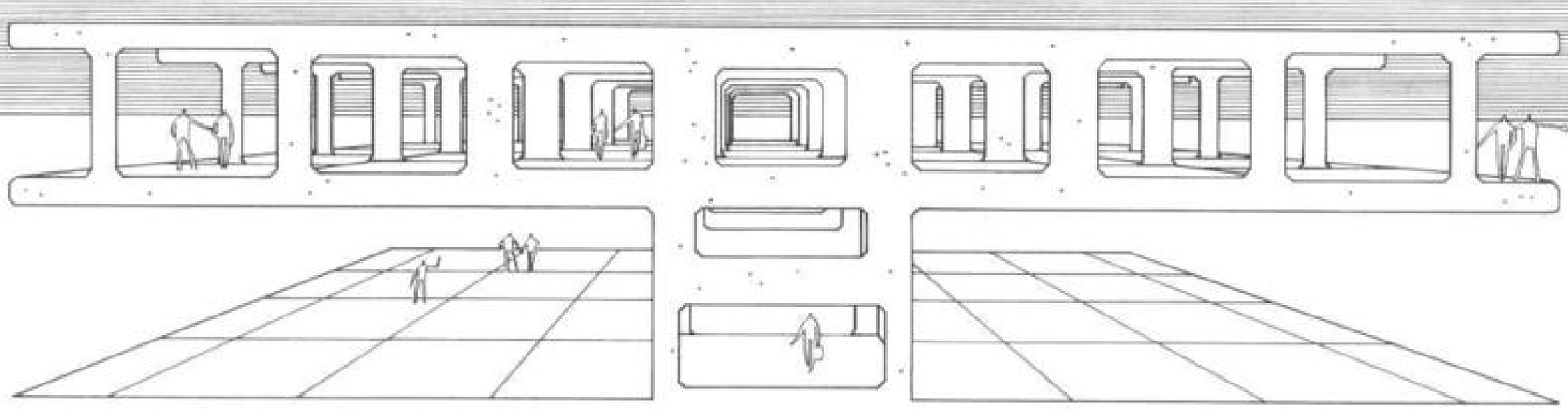
Pórtico de varios vanos de una planta apoyado en los extremos

Pórtico de vários vãos com um só pavimento, apoiado em ambas as extremidades



Pórtico de varios vanos de dos plantas y con voladizos en ambos extremos

Pórtico de vários vãos de dois pavimentos com balanços em ambas as extremidades

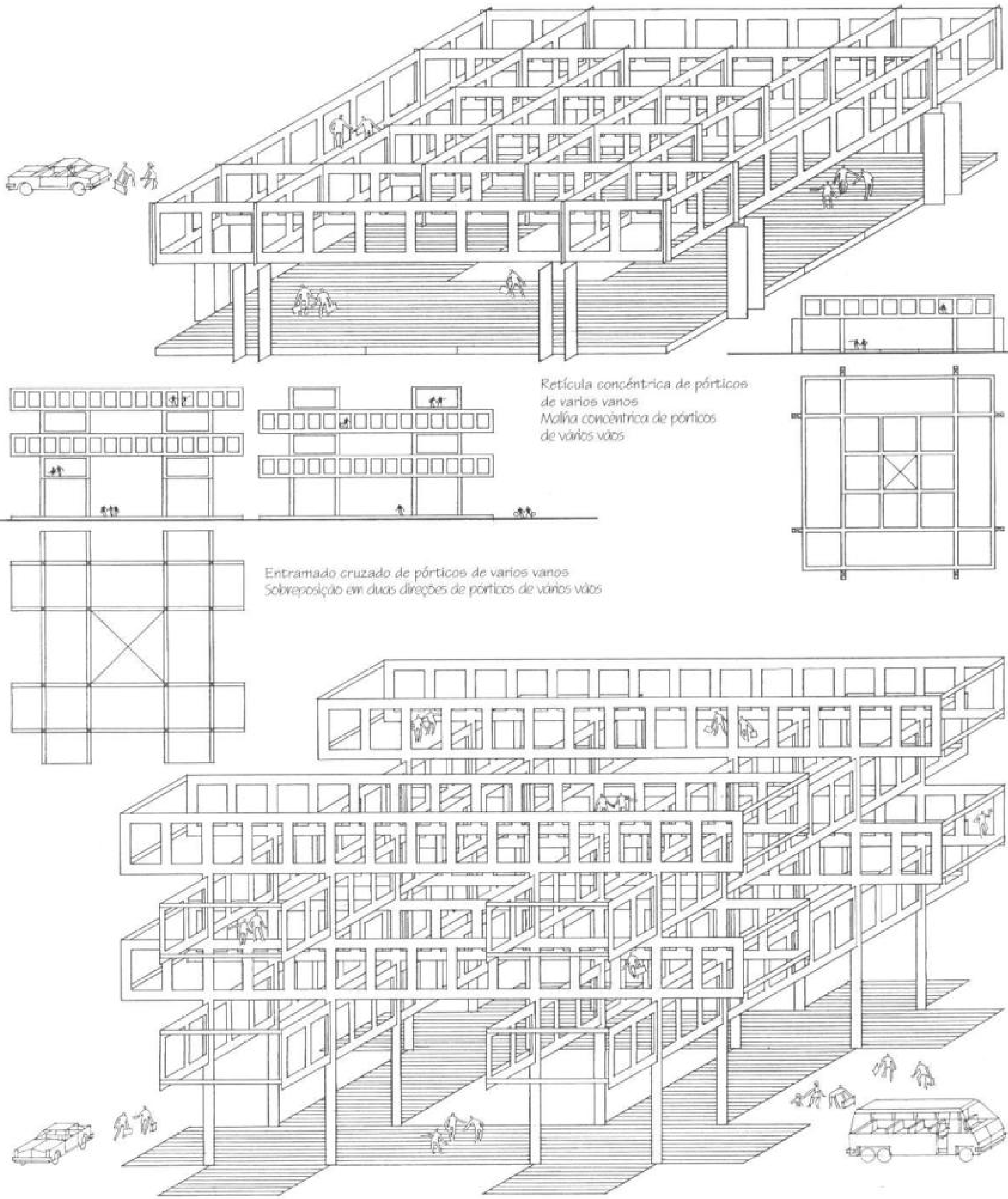


Pórtico de varios vanos de una planta y apoyado sobre pilar central

Pórtico de vários vãos de um só pavimento sobre apoios centrais

## Estructuras biaxiales de pórticos de una planta y varios vanos

## Sistemas biaxiais de pórticos de vários vãos

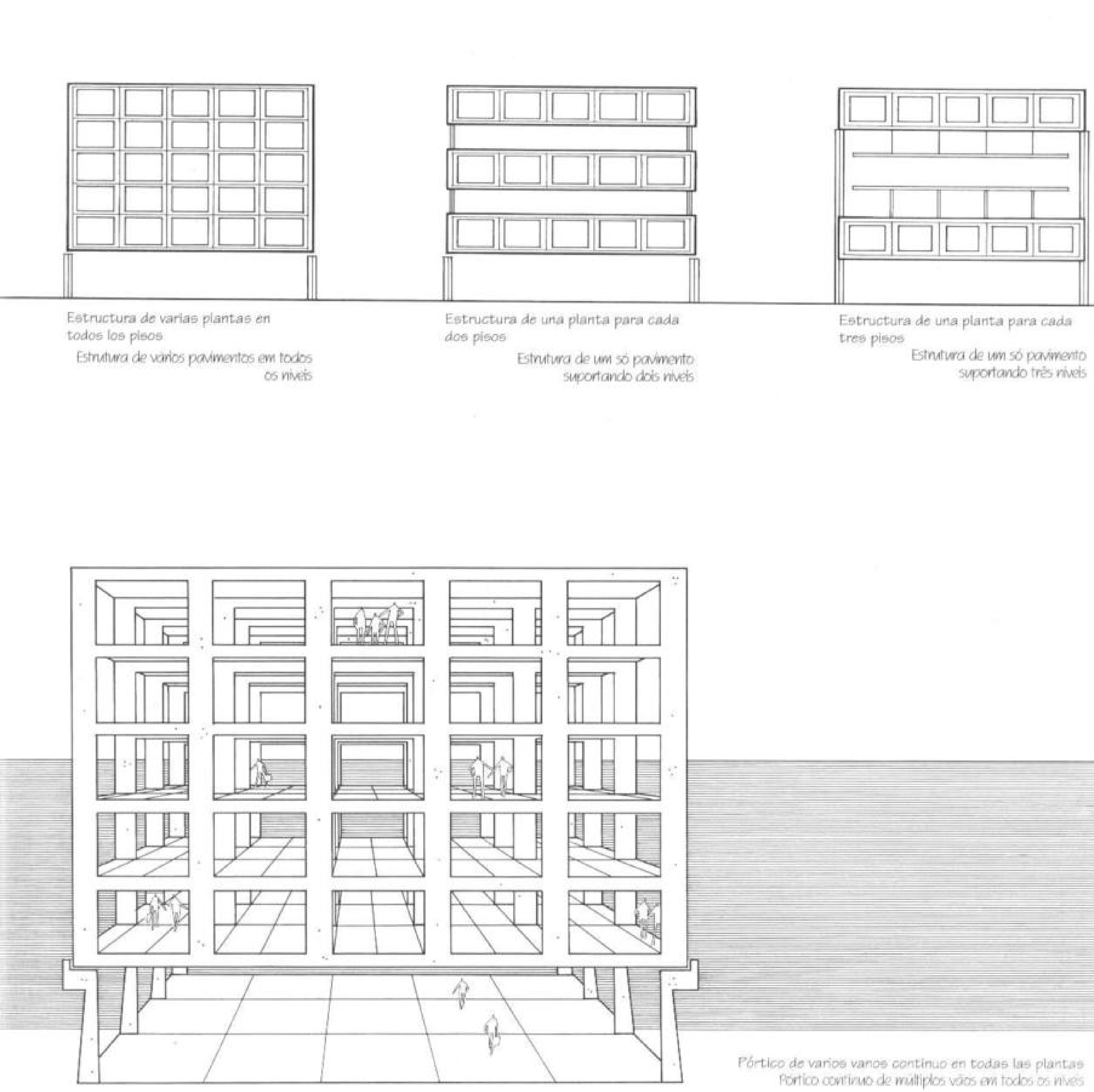


Retícula concéntrica de pórticos de varios vanos
Malha concêntrica de pórticos de vários vãos

Entramado cruzado de pórticos de varios vanos
Sobreposição em duas direções de pórticos de vários vãos

Estructuras de varias plantas con pórticos de varios vanos

Estruturas de vários pavimentos compostos de pórticos fechados de múltiplos vãos



Estructura de varias plantas en todos los pisos

Estrutura de vários pavimentos em todos os níveis

Estructura de una planta para cada dos pisos

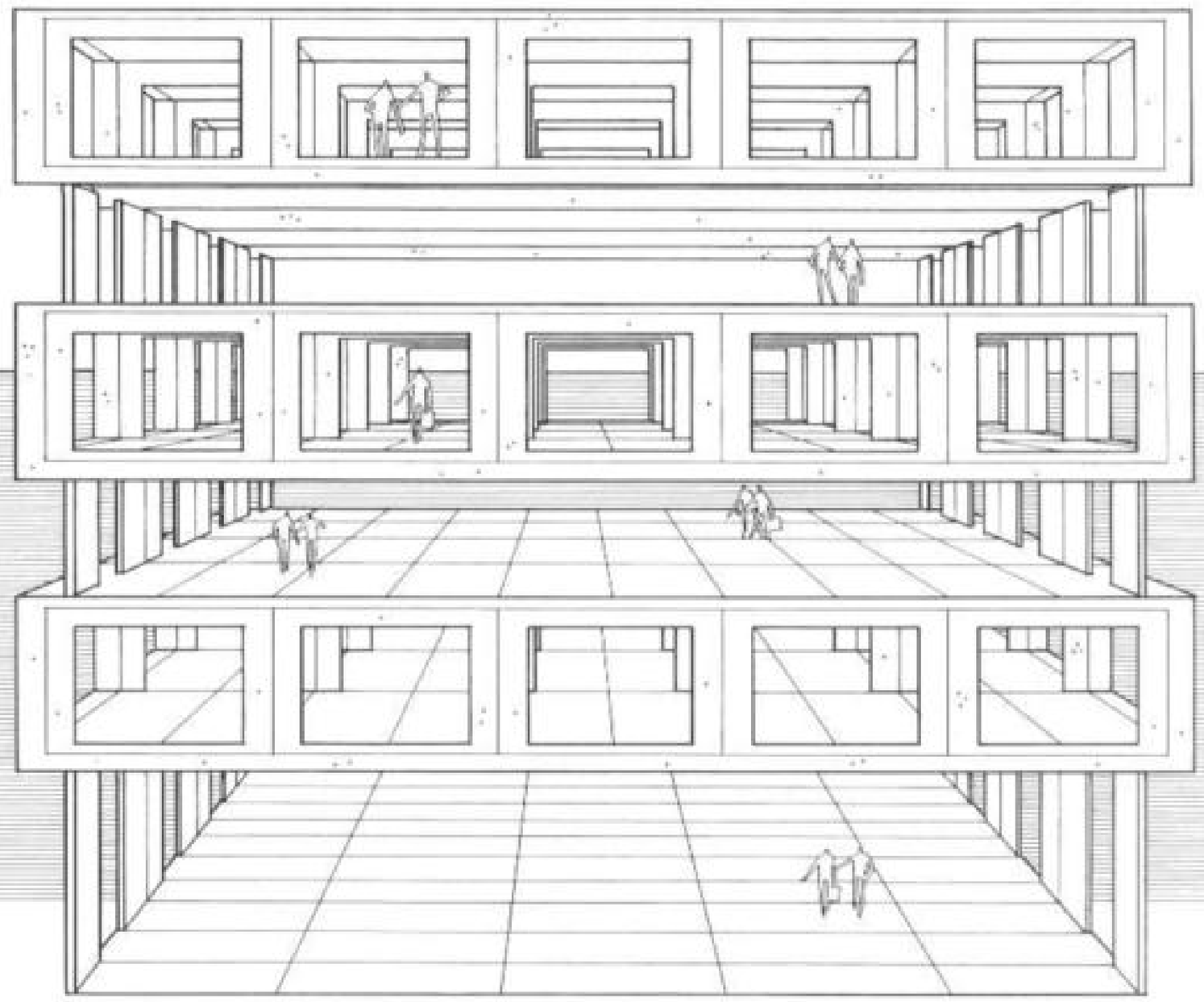
Estrutura de um só pavimento suportando dois níveis

Estructura de una planta para cada tres pisos

Estrutura de um só pavimento suportando três níveis

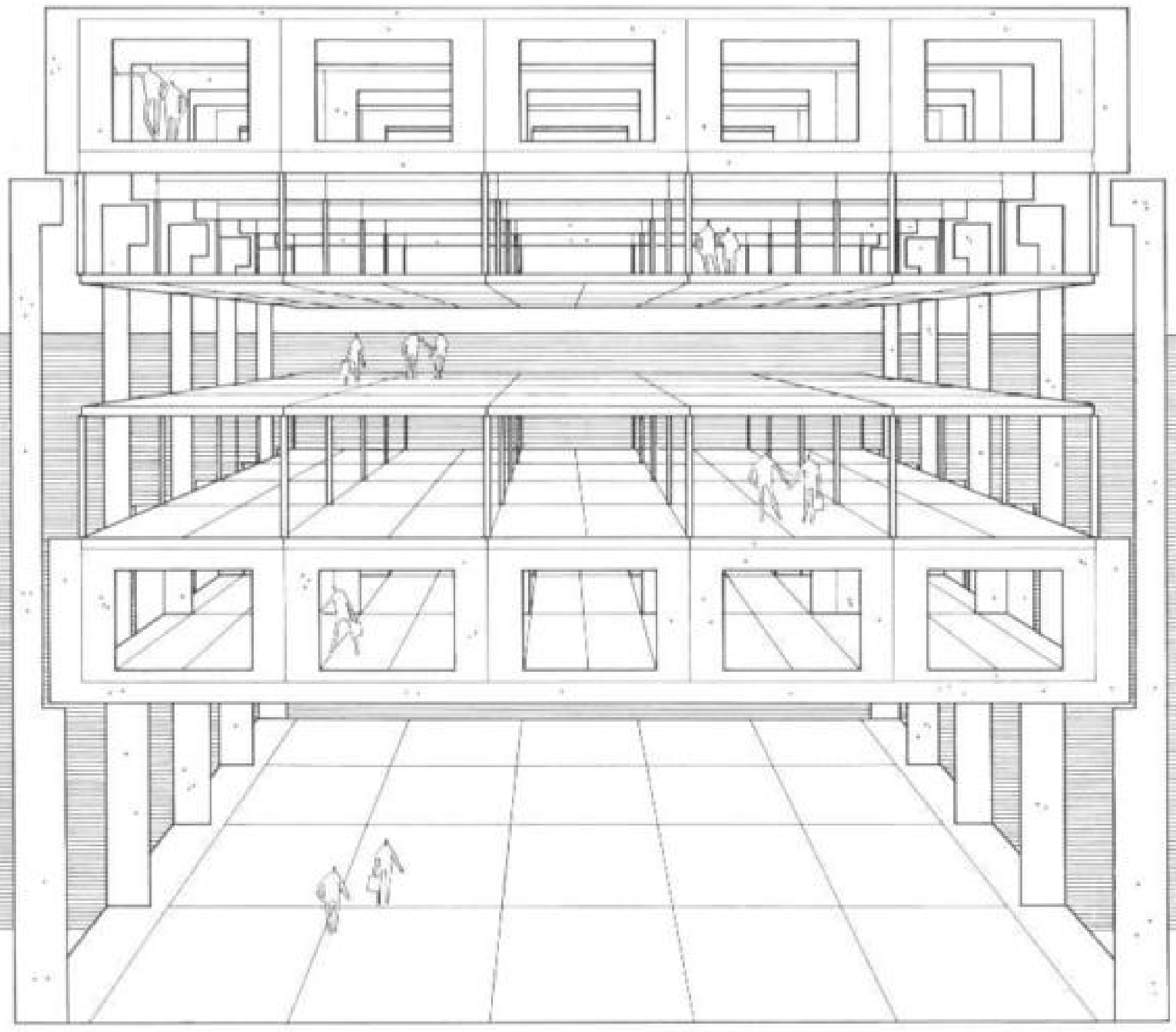
Pórtico de varios vanos continuo en todas las plantas

Pórtico contínuo de múltiplos vãos em todos os níveis



Pórtico de varios vanos y una planta como estructura para cada dos pisos

Pórtico de um só pavimento com múltiplos vãos como suporte para cada dois níveis

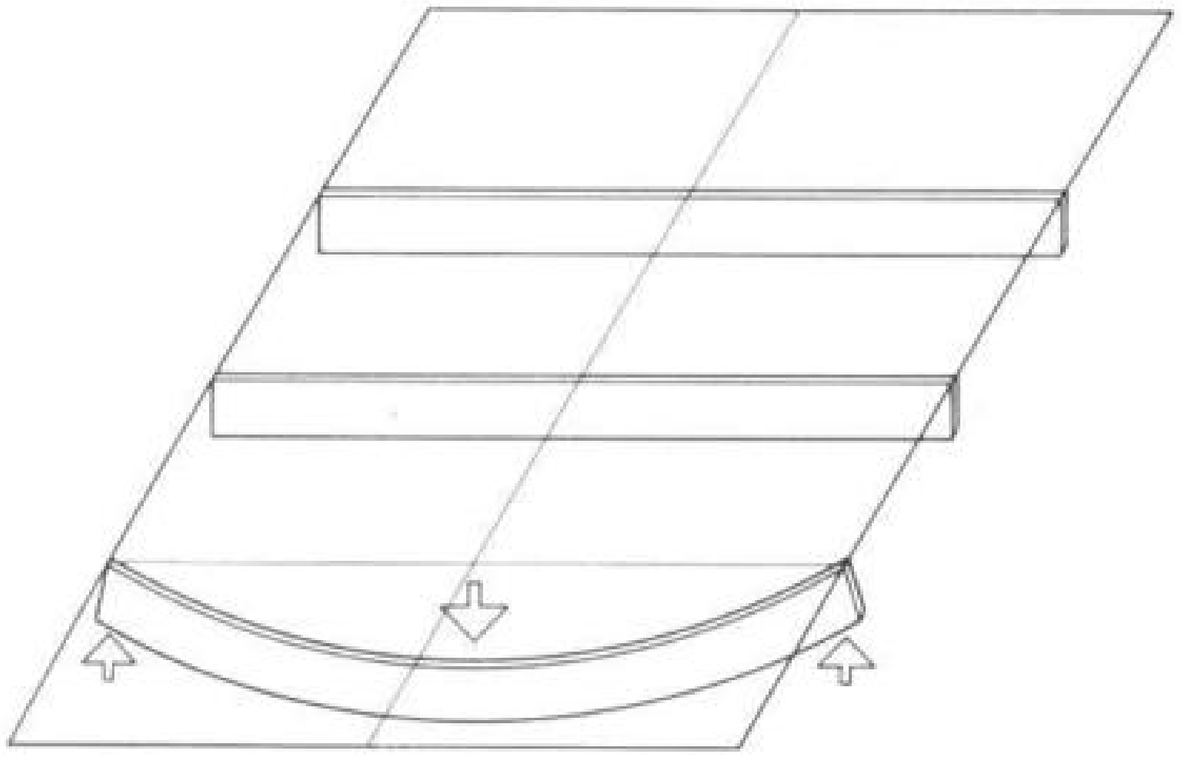


Pórtico de varios vanos y una planta como estructura para cada tres pisos

Pórtico de um só pavimento com múltiplos vãos como suporte para cada três níveis

## Relación entre vigas paralelas aisladas y una retícula de vigas

Transmisión biaxial de cargas

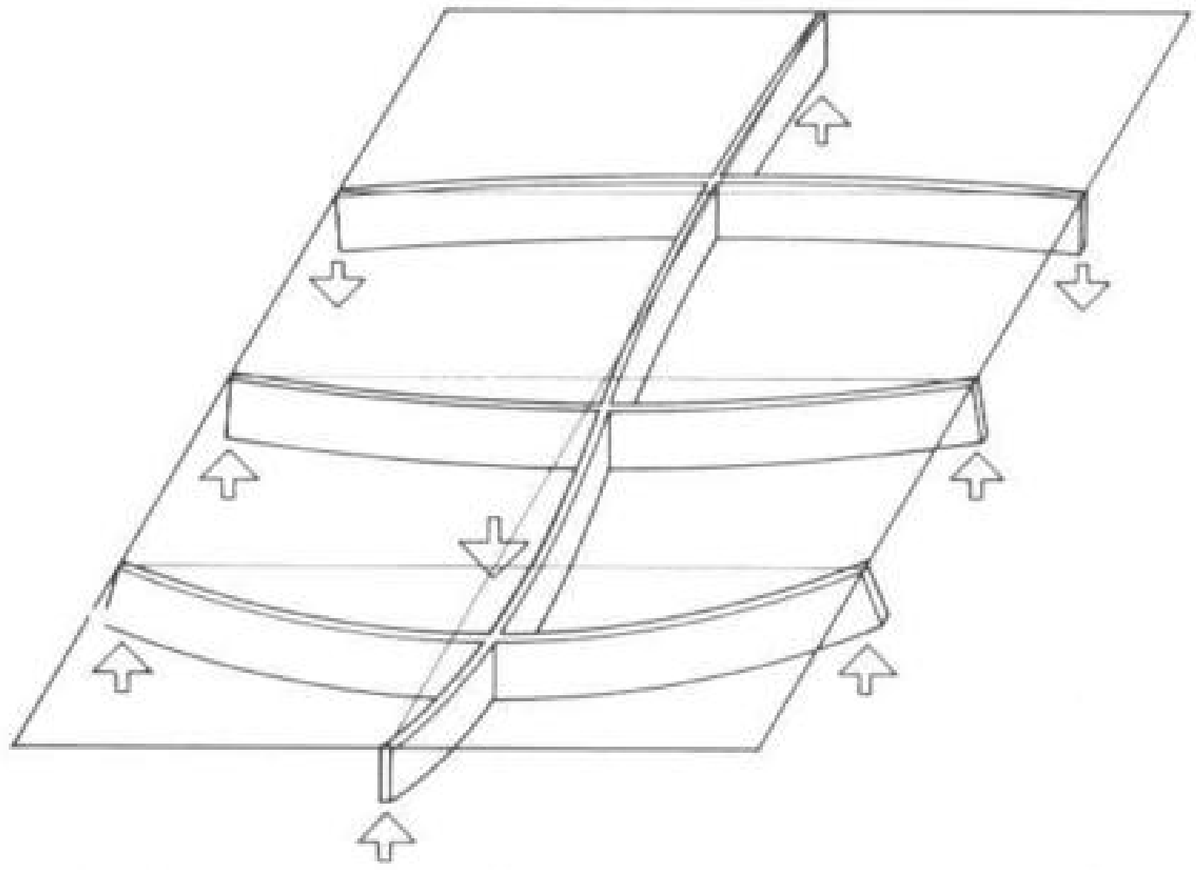


En las estructuras de vigas paralelas sólo se deforma la viga sometida a la carga puntual. Las demás vigas no participan en el mecanismo de resistencia frente a la carga puntual.

No sistema de viga paralela, apenas uma viga baixo a carga será defletida. As outras vigas paralelas não participam do mecanismo resistente à carga isolada.

## Relação entre vigas paralelas simples e malha de vigas

Carga dispersa biaxial

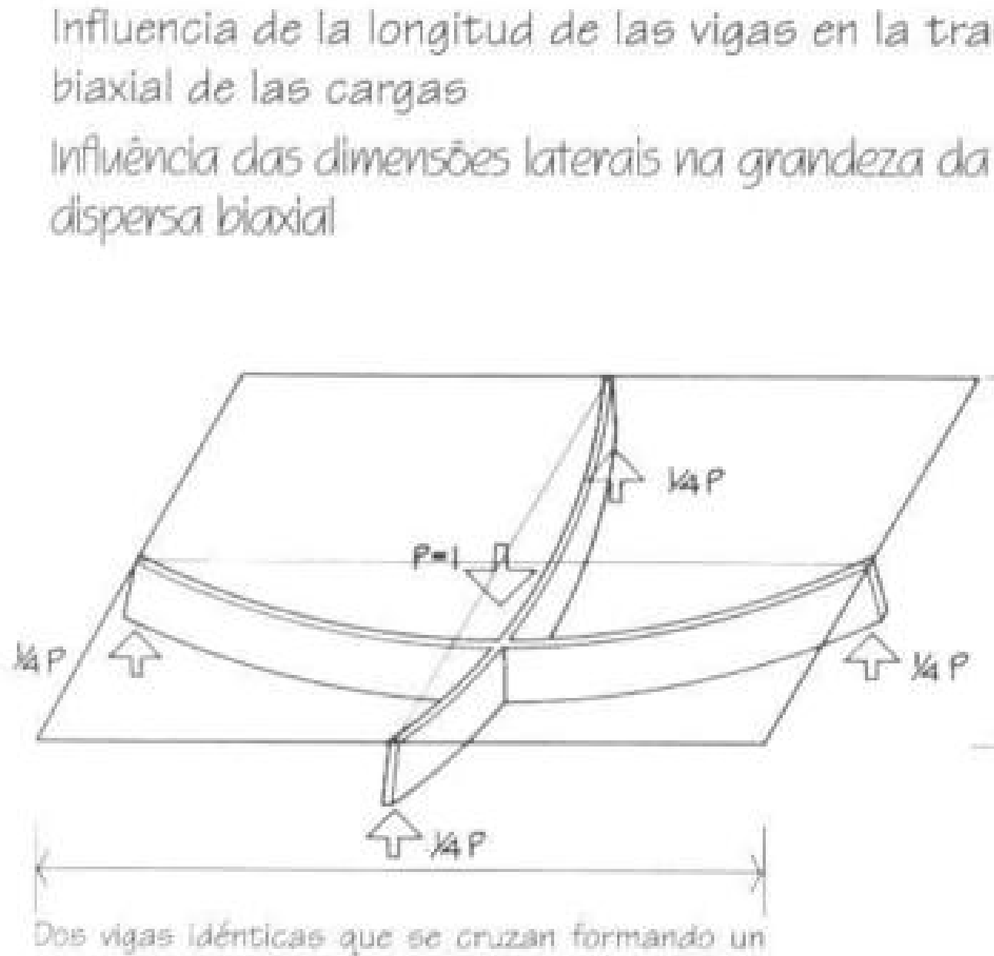


Insertando una viga transversal, perpendicularmente a las vigas paralelas, una parte de la carga se transmite a las demás vigas paralelas. Todos los elementos de la estructura participan en el mecanismo de resistencia frente a la carga puntual.

Através da inserção de uma viga transversal em ângulos retos com as vigas paralelas, uma parte da carga é transmitida às vigas indiretamente carregadas. Assim, todo o sistema participa do mecanismo de resistência à carga isolada.

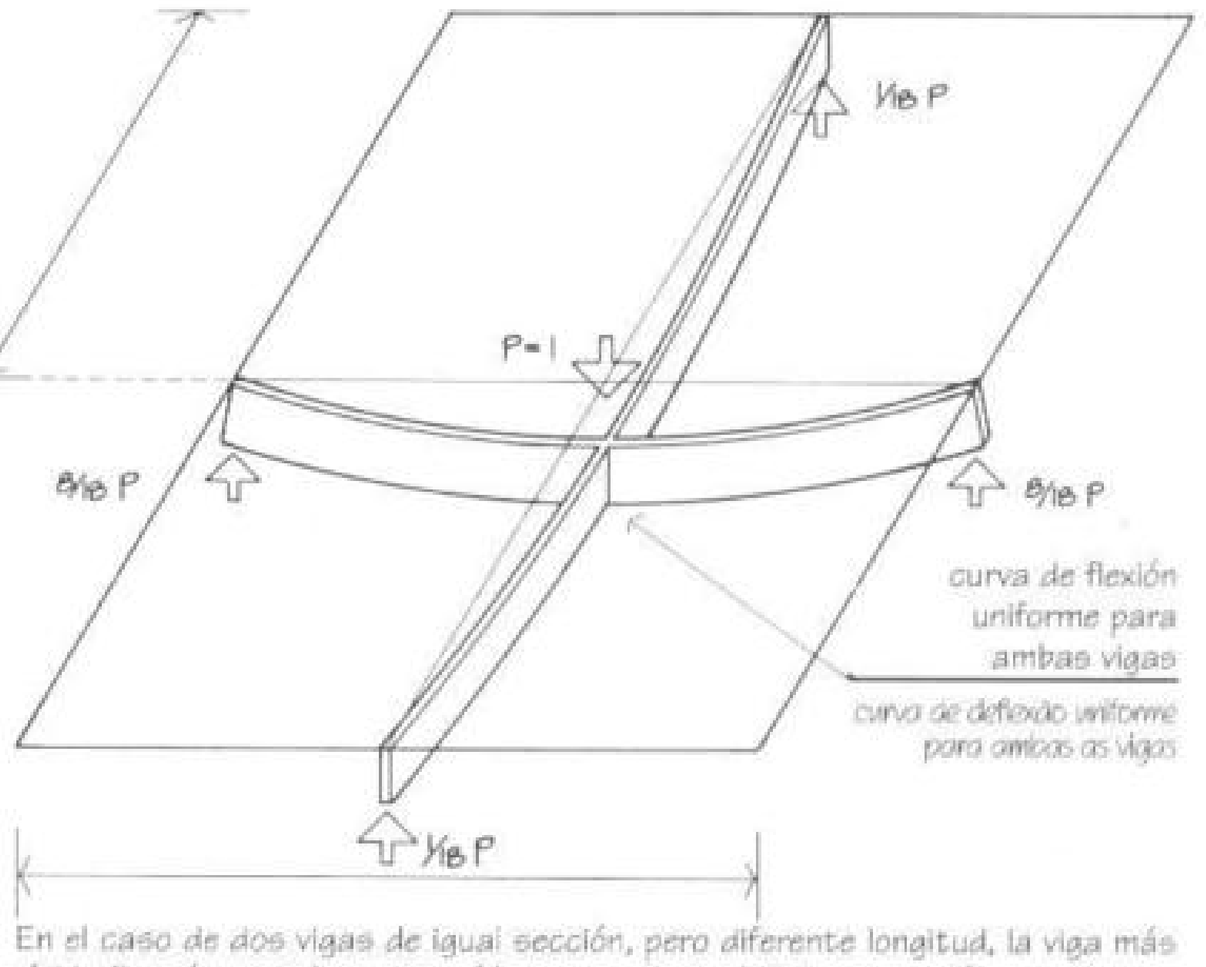
## Influencia de la longitud de las vigas en la transmisión biaxial de las cargas

## Influência das dimensões laterais na grandeza da carga dispersa biaxial



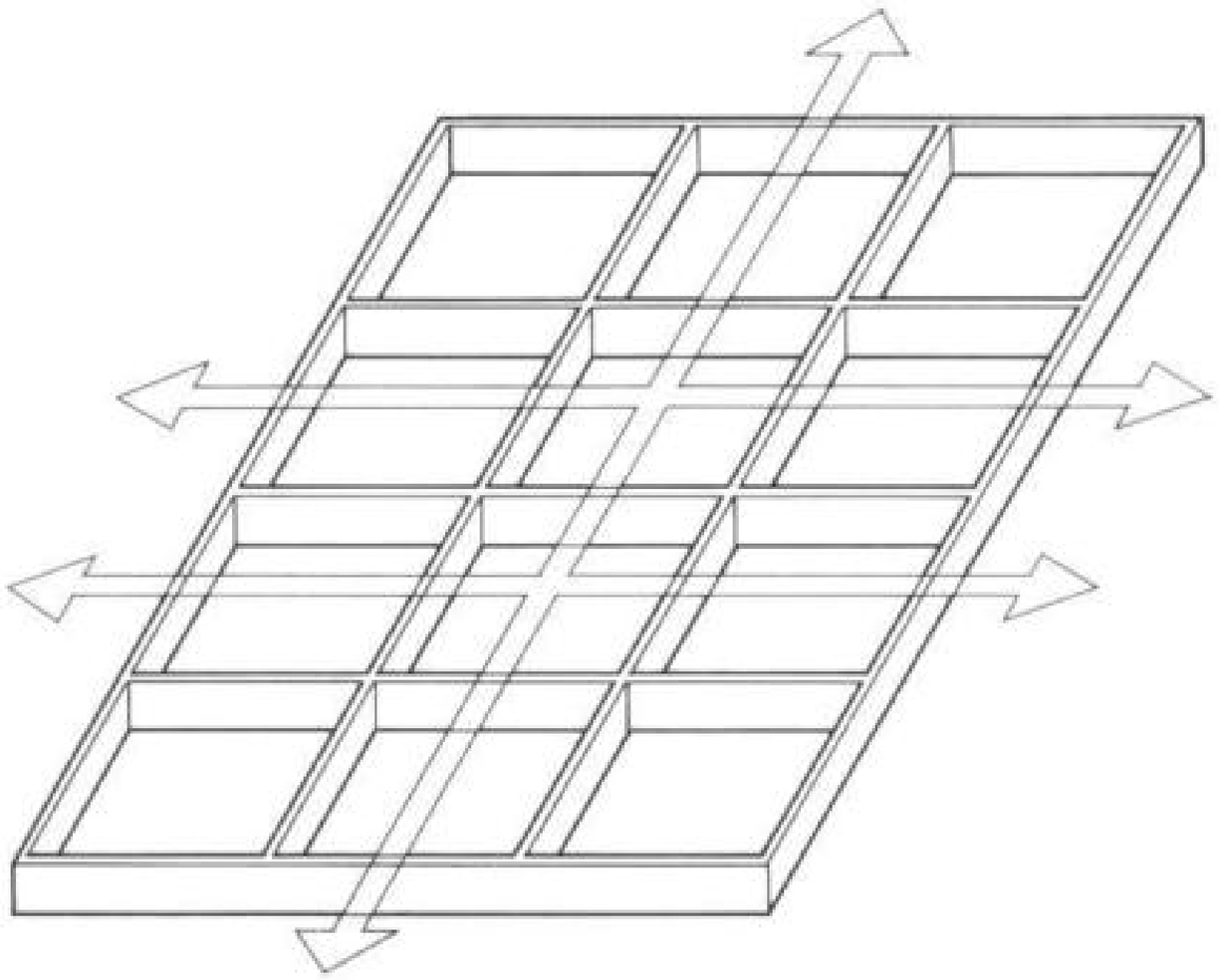

Dos vigas idénticas que se cruzan formando un ángulo recto transmiten cada una de ellas la mitad de la carga. Por lo tanto, la reacción en cada uno de los apoyos es 1/4 de la carga total.

Duas vigas idênticas formando ângulos retos entre si recebem, cada uma, metade da carga total. Conseqüentemente, cada uma suporta reações iguais: 1/4 da carga total.




En el caso de dos vigas de igual sección, pero diferente longitud, la viga más rígida (la más corta) soportará la carga principal. Si la proporción entre la longitud de las vigas es de 1:2, la proporción entre la rigidez de ambas vigas será de 1/8. Por lo tanto, la más corta transmitirá 8/9 partes de la carga total.

Se vigas de igual seção possuem diferentes comprimentos, a menor (por ser a mais forte) absorve a maior parte da carga. Se a relação entre os lados for 1:2, a rigidez das vigas terá a relação de 1:8. Conseqüentemente, a menor viga receberá 8/9 da carga total.

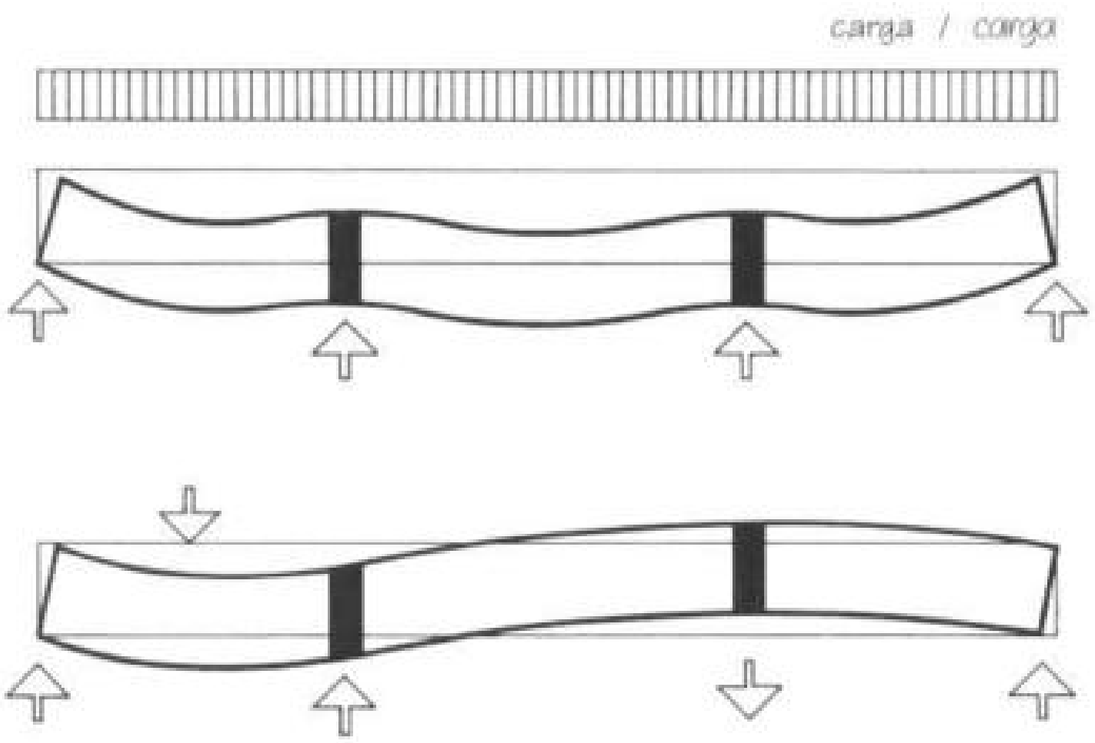


## Transmisión biaxial de la carga en una retícula con uniones rígidas

## Carga biaxial dispersa da malha de vigas com conexões rígidas

Supuesto que las dos filas de vigas tengan aproximadamente la misma rigidez, la carga se transmitirá según los dos ejes mediante el mecanismo de flexión. En el caso de cargas puntuales, debido a la mutua interrelación, también se deforman las vigas sobre las que no actúa ninguna carga. Con ello aumenta la resistencia.

Supondo que ambas as séries de vigas possuem aproximadamente a mesma rigidez, a carga é dispersa pelo mecanismo de flexão em dois eixos. No caso da condição de carga pontual, em virtude da mútua interseção, as vigas não sujeitas diretamente ao efeito da carga defletem também. Conseqüentemente, a resistência à flexão é aumentada.

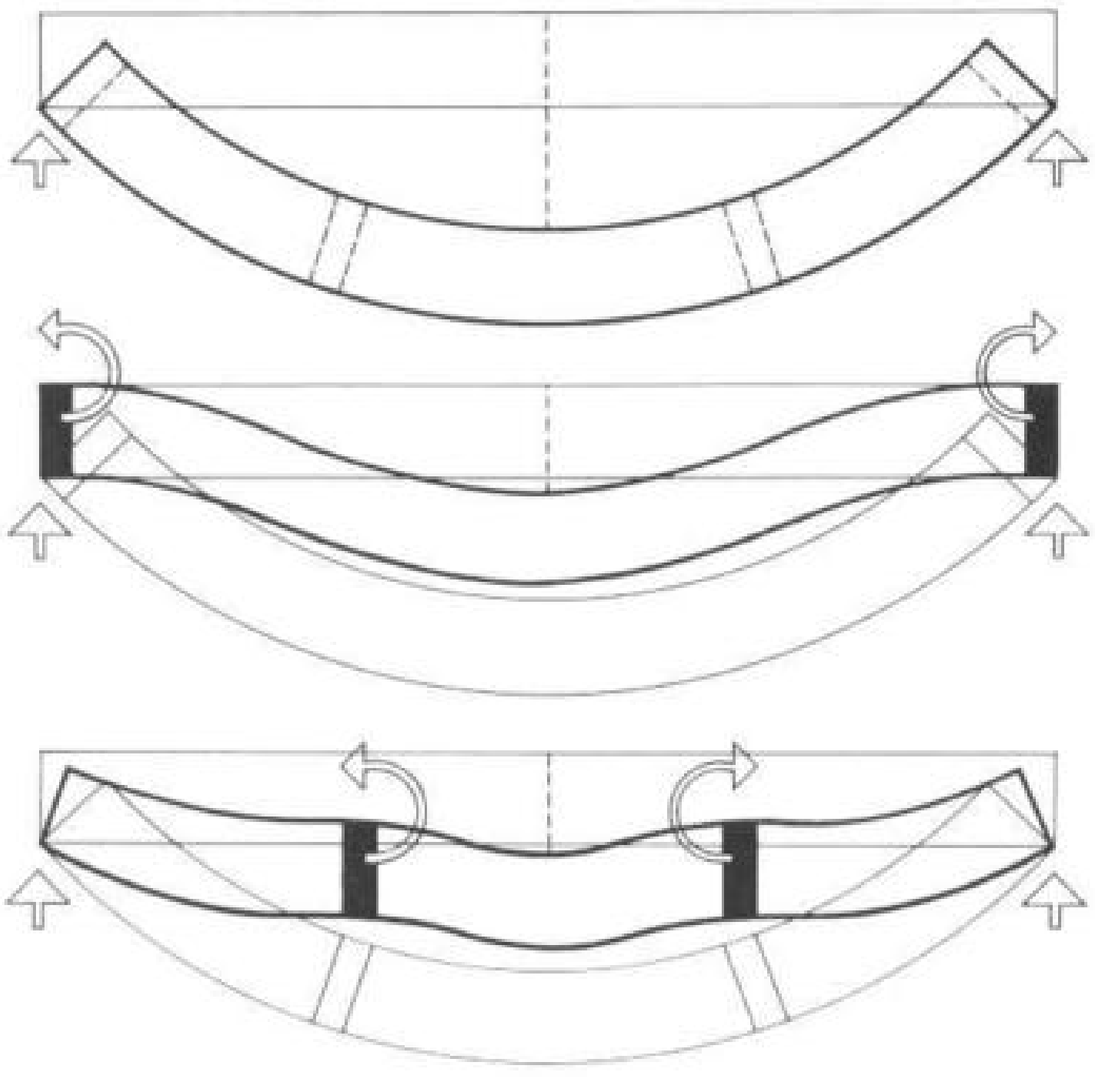



## Comportamiento de los elementos como viga continua sobre pilares flexibles

## Comportamento de um componente como viga contínua sobre suportes flexíveis

La viga aislada de una retícula se comporta como una viga continua cuyos pilares son flexibles. En el caso de una carga asimétrica puede aparecer una flexión hacia arriba (negativa).

A viga isolada na malha atua como uma viga contínua, na qual os apoios intermediários são flexíveis. Sob a ação de uma carga unilateral, pode ocorrer uma flexão de sentido inverso (flexão negativa).



## Acción portante adicional debido a la resistencia frente al giro

## Ação portante adicional por meio de resistência à torção

Debido a la rigidez de los puntos de unión, la viga de borde gira cuando flecha la viga transversal. La resistencia de la viga de borde frente al giro tiene el efecto de empotramiento y reduce la flexión en la viga transversal.

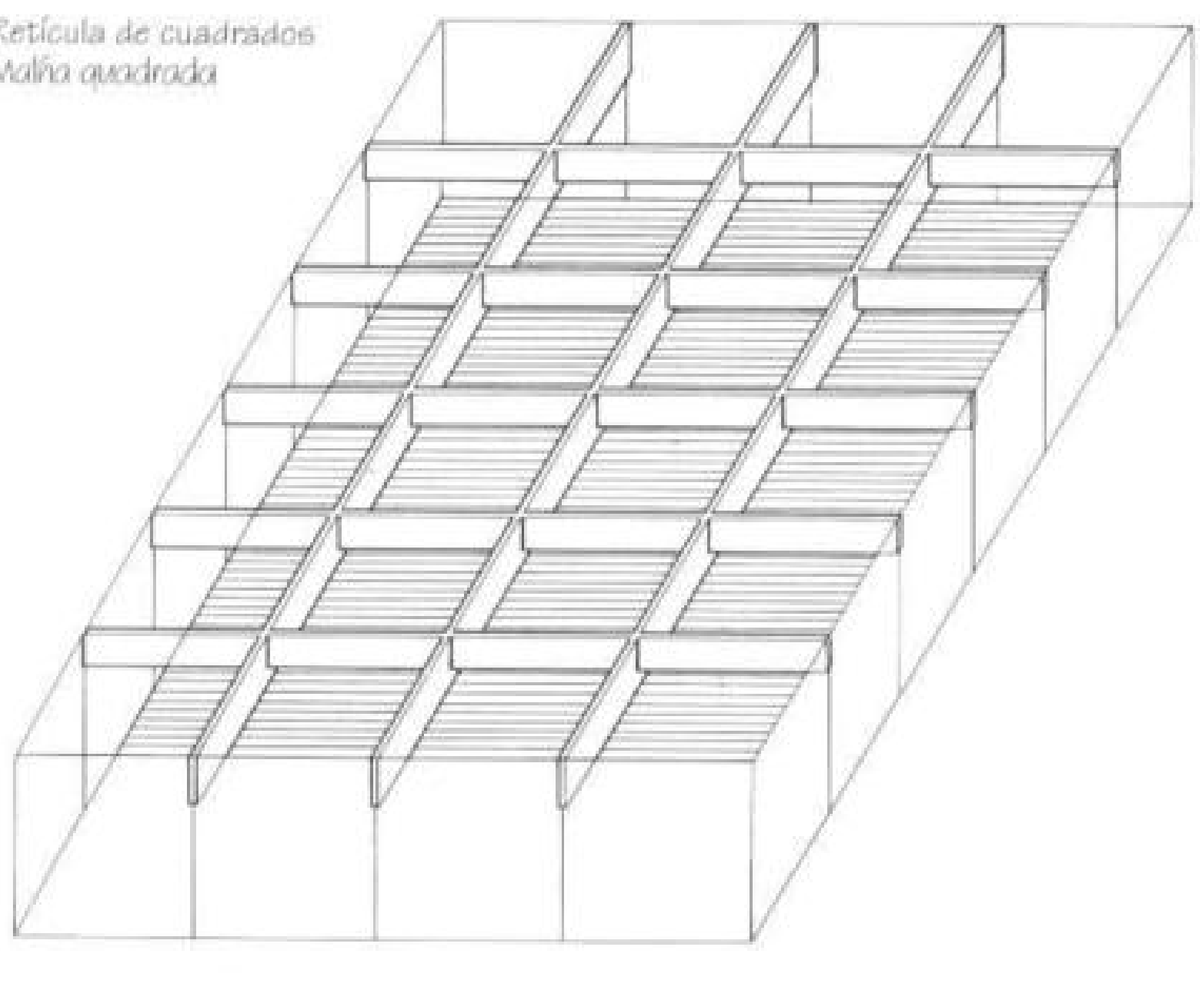
Por causa das interseções rígidas, a viga de borda é torcida pela flexão de rotação das extremidades da viga transversal. A resistência à torção pela viga de borda tem o efeito de uma situação de extremidade fixa: isso reduzindo a flexão da viga transversal.

Debido a la rigidez de los puntos de unión, la flexión de una de las vigas comporta el giro de las vigas transversales. Con ello se activa otro mecanismo más de resistencia.

Devido às interseções rígidas, a flexão de uma seção da viga causa a torção da seção da viga correndo no sentido transversal. Por meio desse novo mecanismo de resistência contra a flexão, a curva de deflexão é ativada.

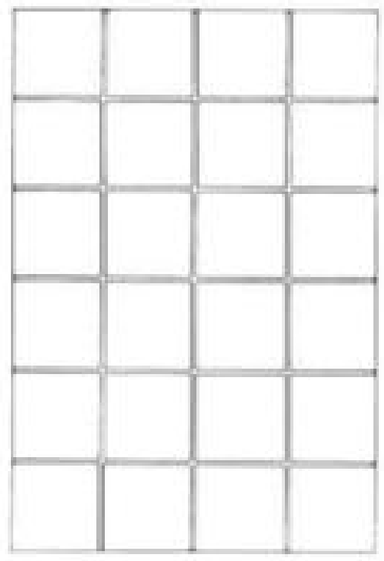
## Retícula de vigas para plantas de lados desiguales
## Malha de vigas para plantas planas de lados desiguais

Retícula de cuadrados
*Malha quadrada*

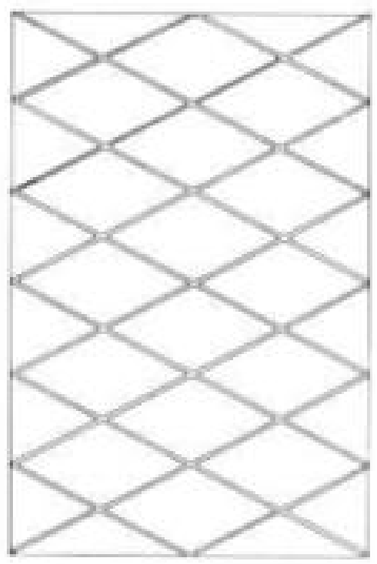


Retícula oblicua
*Malha oblíqua*





Retícula de cuadrados (rectangular)
*malha quadrada (retangular)*



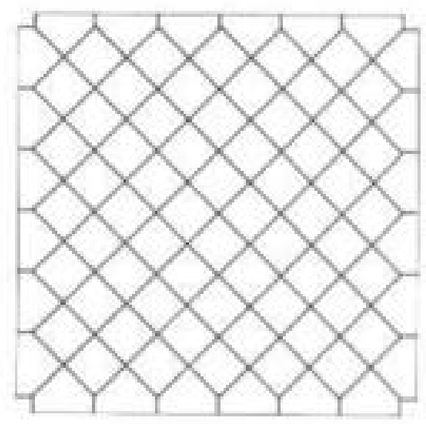
Retícula oblicua (diagonal)
*malha oblíqua (diagonal)*

En el caso de plantas rectangulares con uno de los lados sensiblemente mayor al otro, las vigas longitudinales pierden eficacia debido a la disminución de rigidez. Para garantizar una transmisión uniforme en los dos ejes, se han de rigidizar; por ejemplo, si la proporción entre los lados es de 1:2, las vigas longitudinales han de ser ocho veces más rígidas.

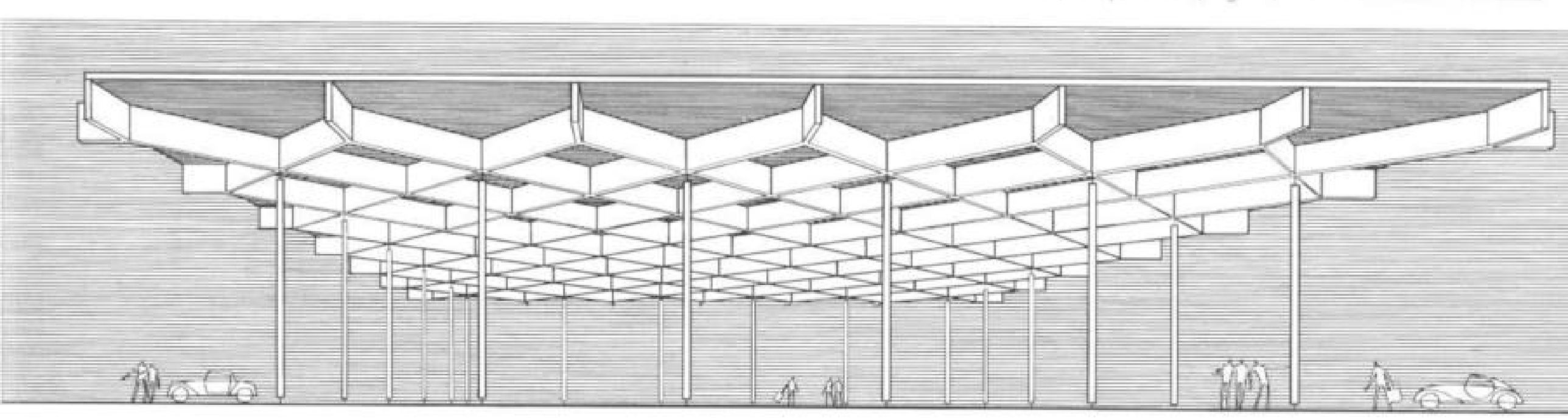
*Nas plantas planas retangulares, onde um lado é acentuadamente maior que o outro, as vigas longitudinais, em virtude da rigidez diminuída, apresentam menos eficiência. Com o fim de permitir carga igualmente dispersa em dois eixos, as vigas longas devem ser adequadamente enrijecidas, isto é, se a planta tem relação de 1:2, as vigas longas devem ser oito vezes mais rígidas.*

La retícula oblicua reduce el inconveniente de la diferencia de longitud de las vigas en las plantas alargadas. Además, debido a las reducidas luces en las esquinas se alcanza una rigidez adicional, de manera parecida a lo que ocurre en los empotramientos.

*A malha oblíqua evita o inconveniente dos comprimentos de viga desiguais nas plantas planas alongadas. Além disso, em virtude dos vãos menores nos cantos, consegue-se uma rigidez adicional semelhante à que se obtém em uma condição de apoio fixo.*



Retícula oblicua de cuadrados
*Malha quadrada (diagonal)*



## Generalidades para el diseño de estructuras mediante retículas de vigas

Aparte de los condicionantes de la forma en planta y la situación de los apoyos, el desarrollo de retículas de vigas depende de tres decisiones formales:

Geometría del entramado de las vigas
Relación entre la retícula y la delimitación lateral del espacio
Estructura del conjunto de la retícula de vigas

Las retículas de vigas se clasifican e identifican según estos parámetros

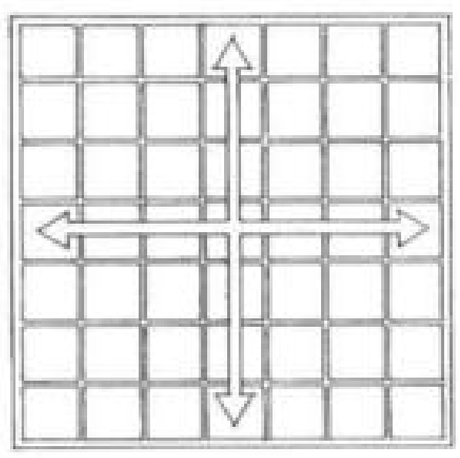
## Questões gerais no projeto de malhas de vigas

Além do compromisso fundamental com a configuração da planta plana e a disposição de apoios, o projeto de malhas de vigas preocupa-se com três formas de decisão:

Geometria do modelo de viga
Relação da viga com o espaço lateral interno
Consistência da estrutura da malha de vigas

Desta maneira, as malhas de vigas serão classificadas e identificadas

1 Geometrías más usuales de las retículas de vigas / Modelos de geometria das malhas de vigas

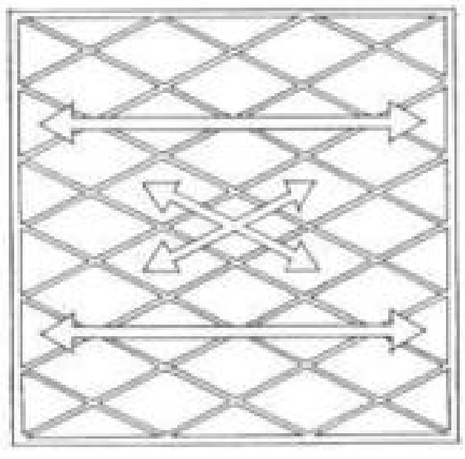


Retícula ortogonal

- transmisión biaxial de la carga
- planta cuadrada o casi cuadrada y con líneas de apoyo en sus cuatro lados

Malha ortogonal

- transmissão de carga biaxial
- planta plana quadrada ou quase quadrada com linhas de apoio nos quatro lados

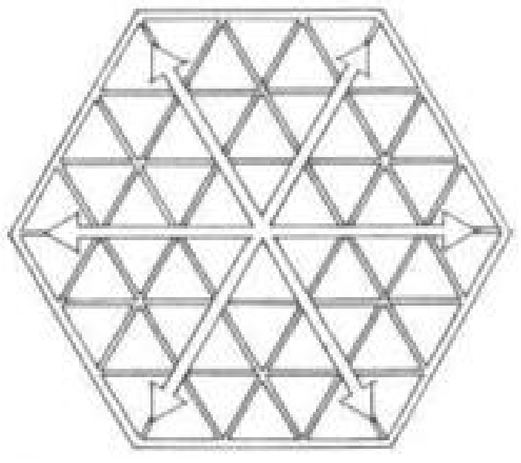


Retícula oblicua

- transmisión uniaxial de la carga
- planta rectangular alargada y con líneas de apoyo en dos lados opuestos

Malha oblíqua

- transmissão de carga em uma dimensão
- planta plana retangular com linhas de apoio em dois lados opostos



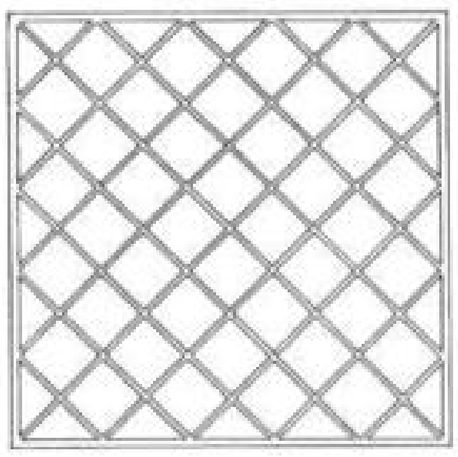
Retícula triangular

- transmisión triaxial de la carga
- planta predominantemente concéntrica y con líneas de apoyo en todos sus lados

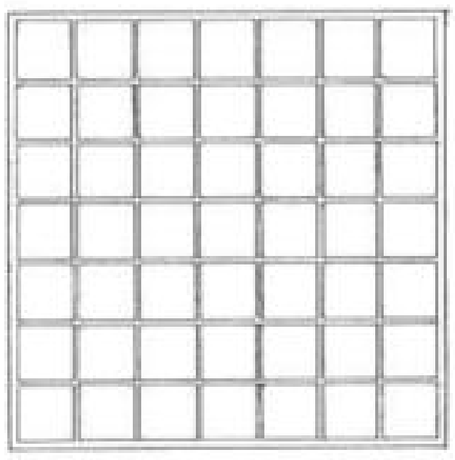
Malha triangular

- transmissão de carga tri-axial
- geralmente planta plana central com linhas de apoio em todos os lados periféricos

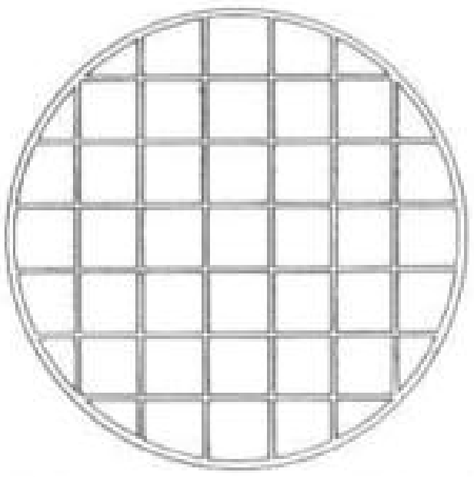
2 Relación de la retícula de vigas con la delimitación lateral del espacio / Relação da malha de vigas com o espaço lateral interno



Retícula diagonal / Malha diagonal

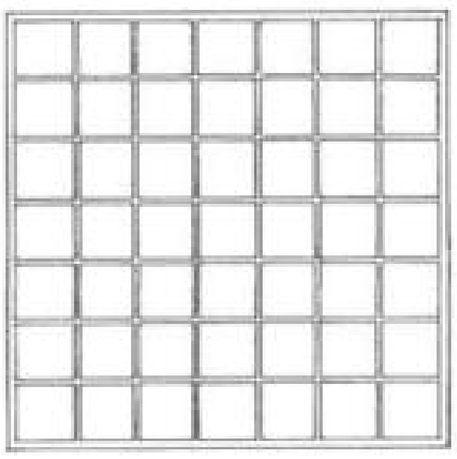


Retícula congruente / Malha congruente

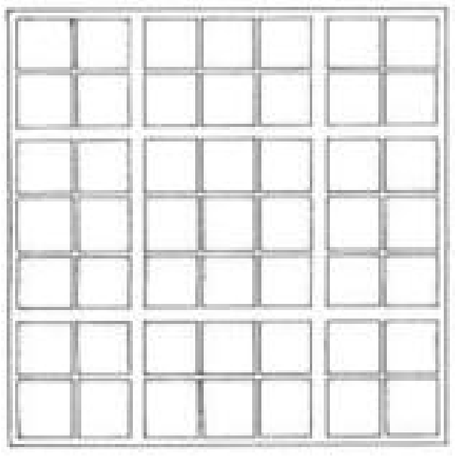


Retícula recortada / Malha seccionada

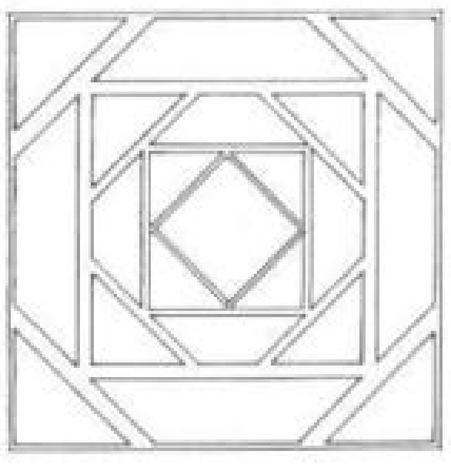
3 Estructura de la retícula de vigas / Consistência da estrutura da malha de vigas



Retícula homogénea: estructura no diferenciada
Malha homogênea: estrutura não diferenciada



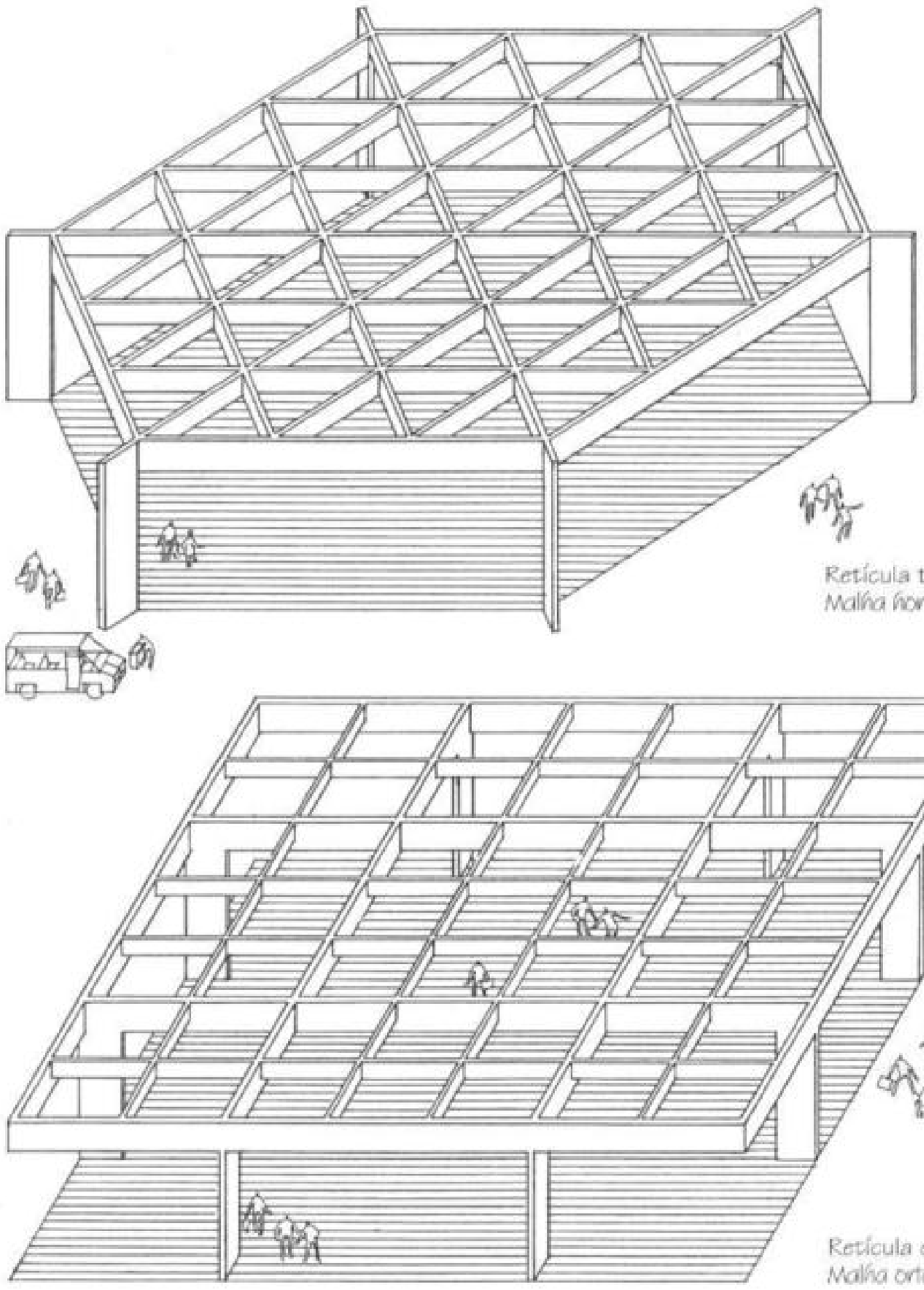
Retícula graduada: retícula principal y secundaria
Malha graduada: estrutura principal e secundária



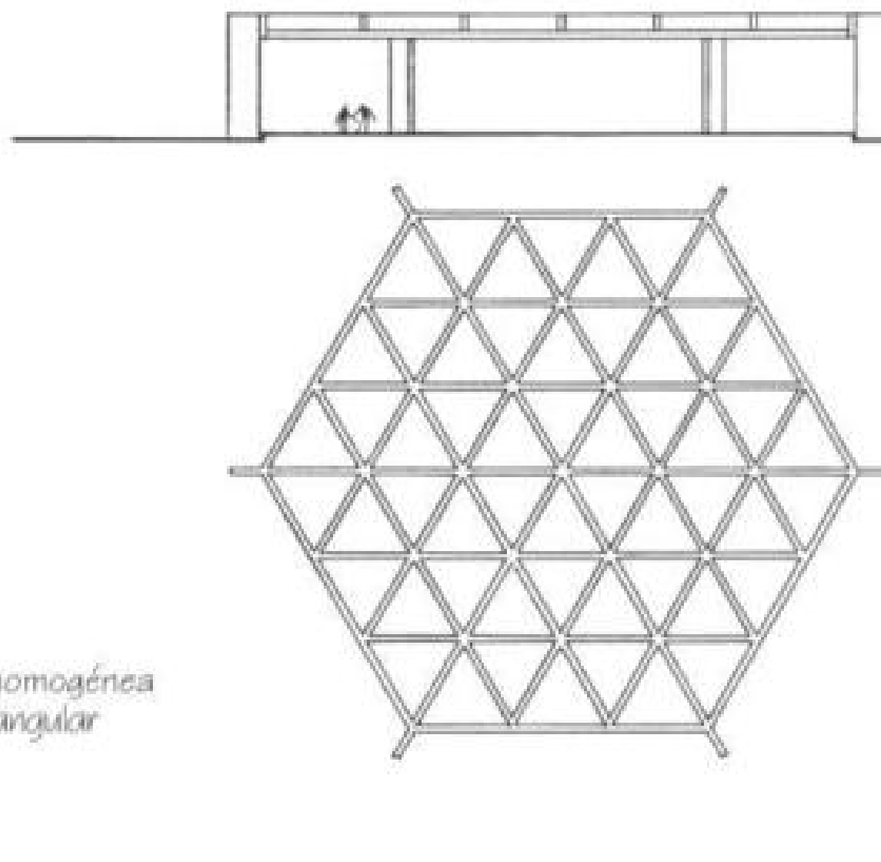
Retícula concéntrica: orden centralizado
Malha concêntrica: ordem de estrutura centralizada

## Estructuras de retículas de vigas macizas

## Sistemas de malhas de vigas maciças

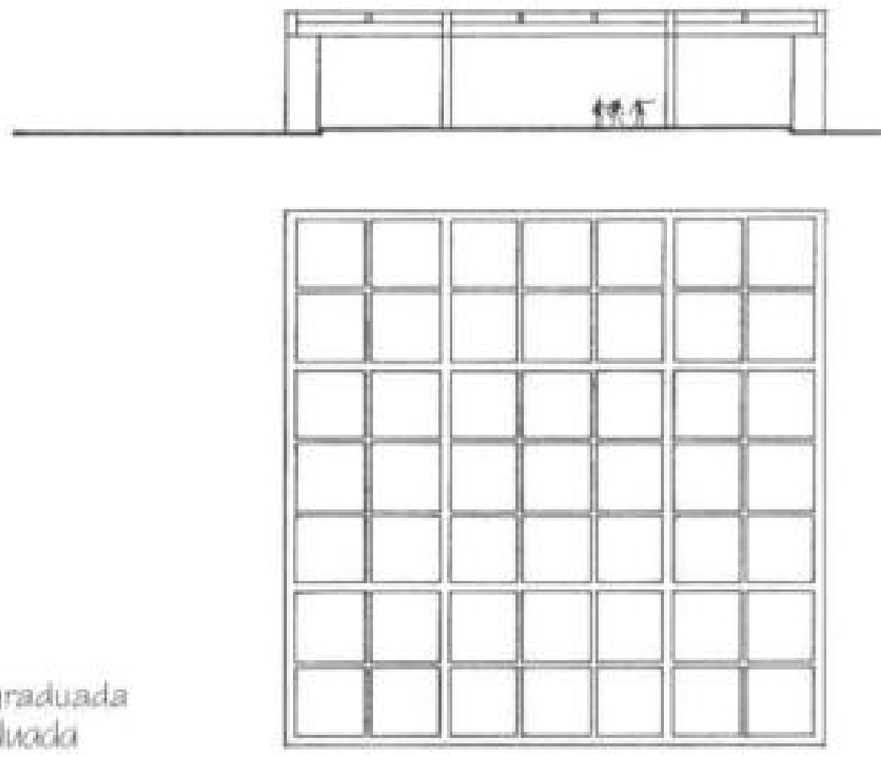


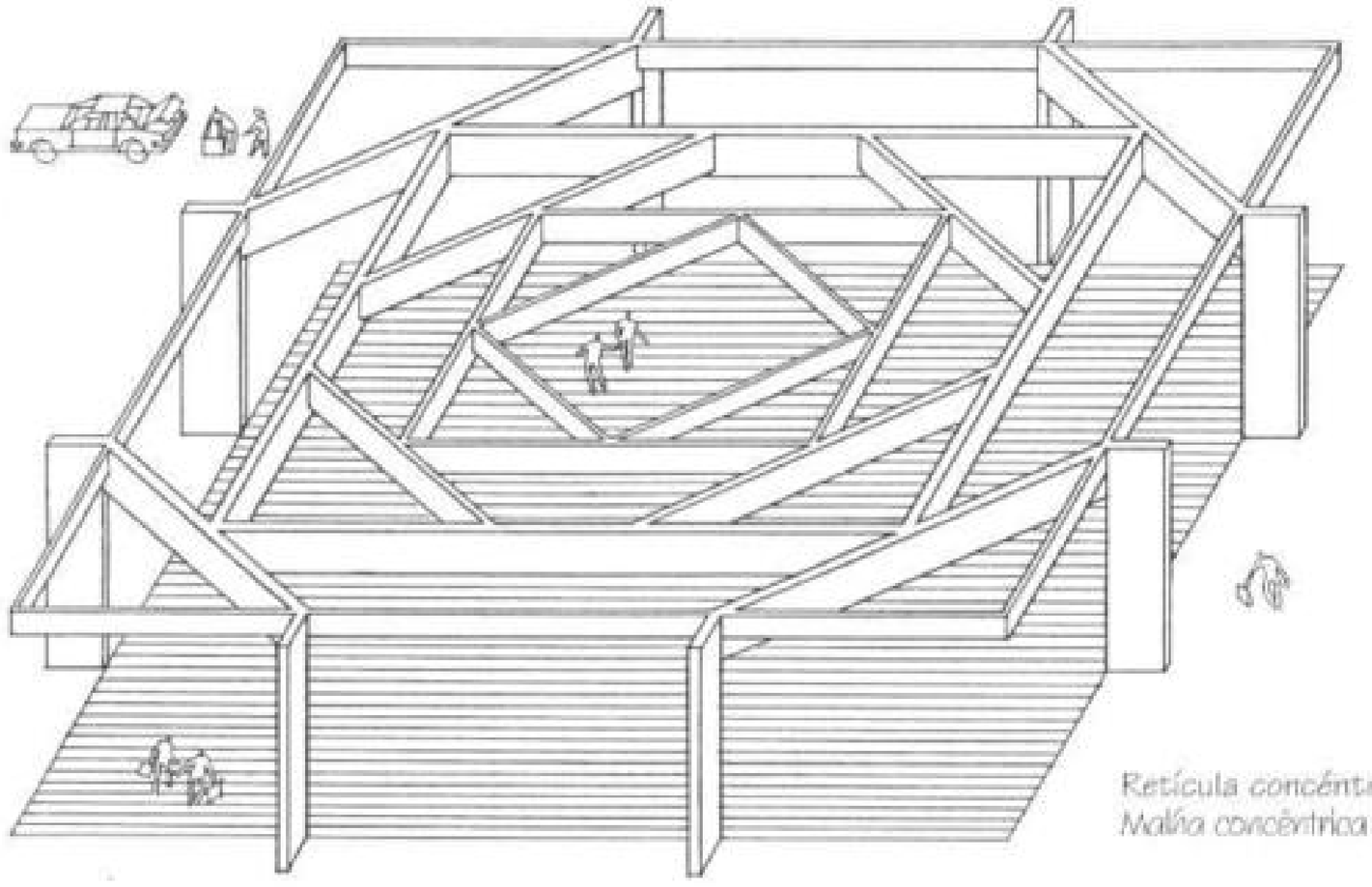
Retícula triangular homogénea
Malha homogênea triangular



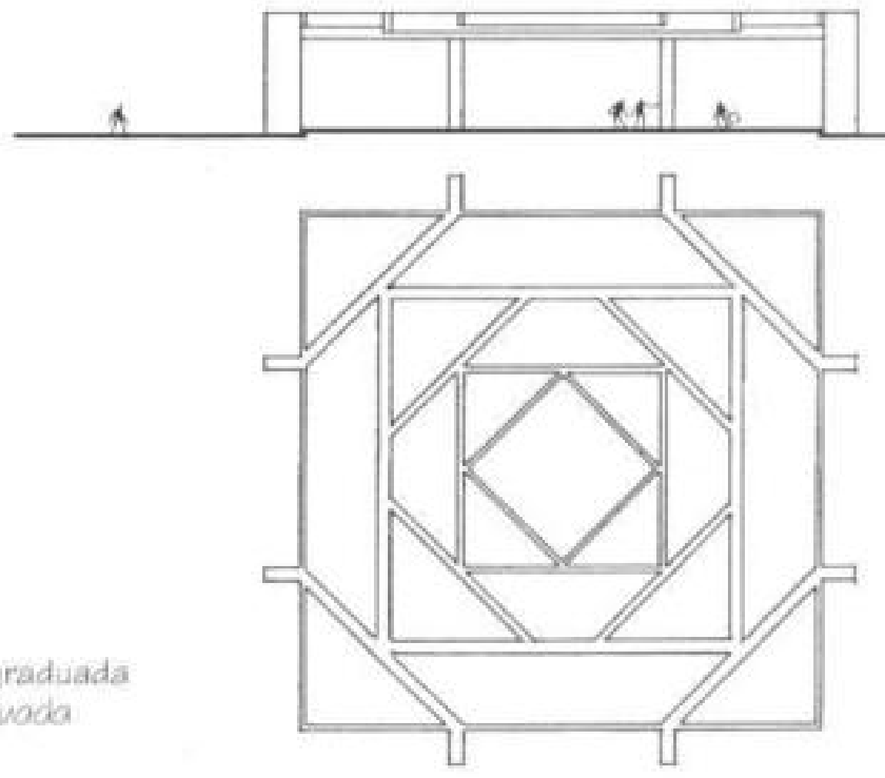


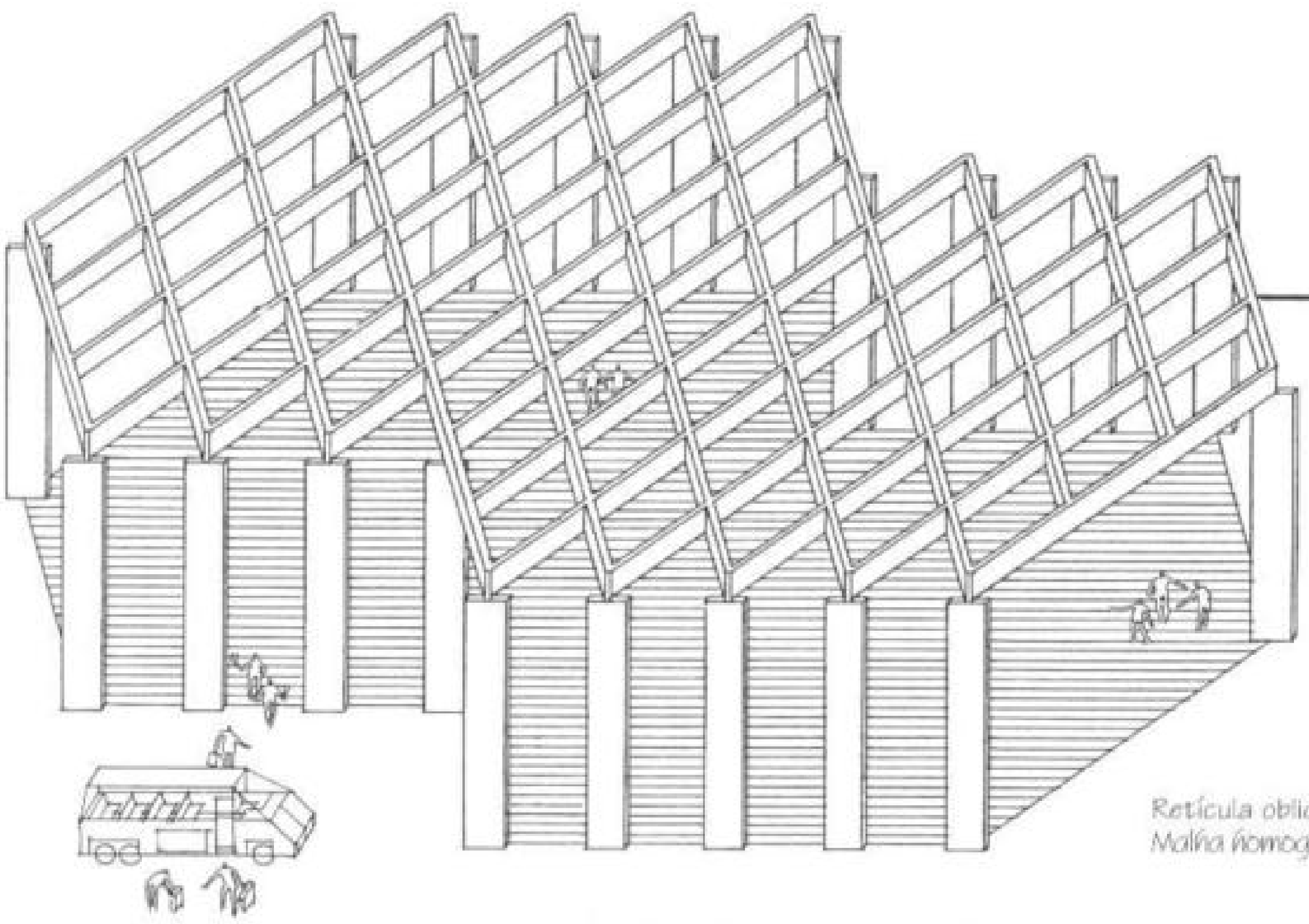
Retícula ortogonal graduada
Malha ortogonal graduada

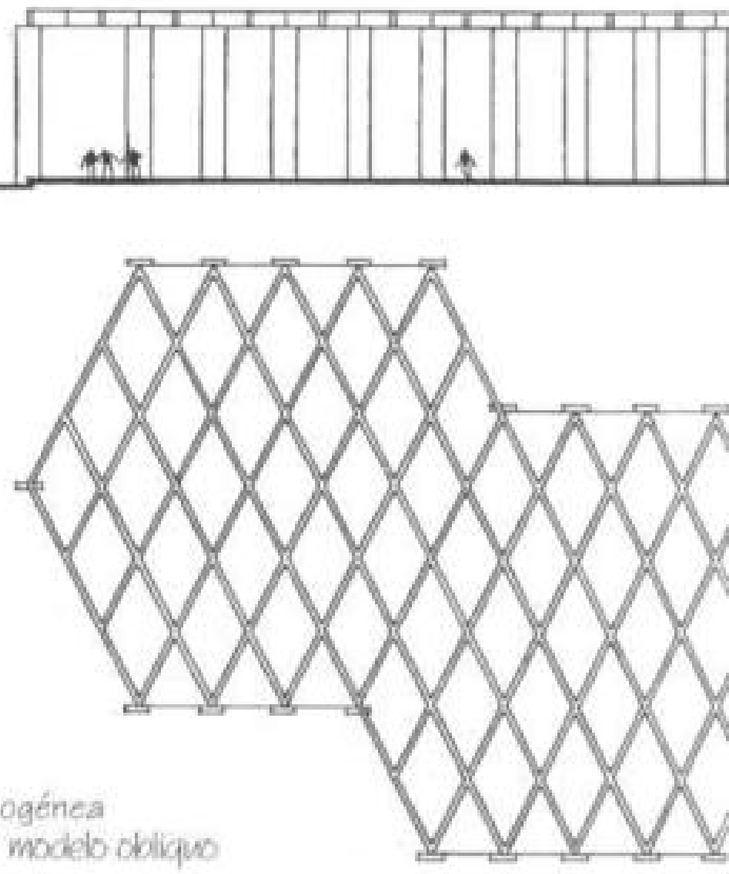




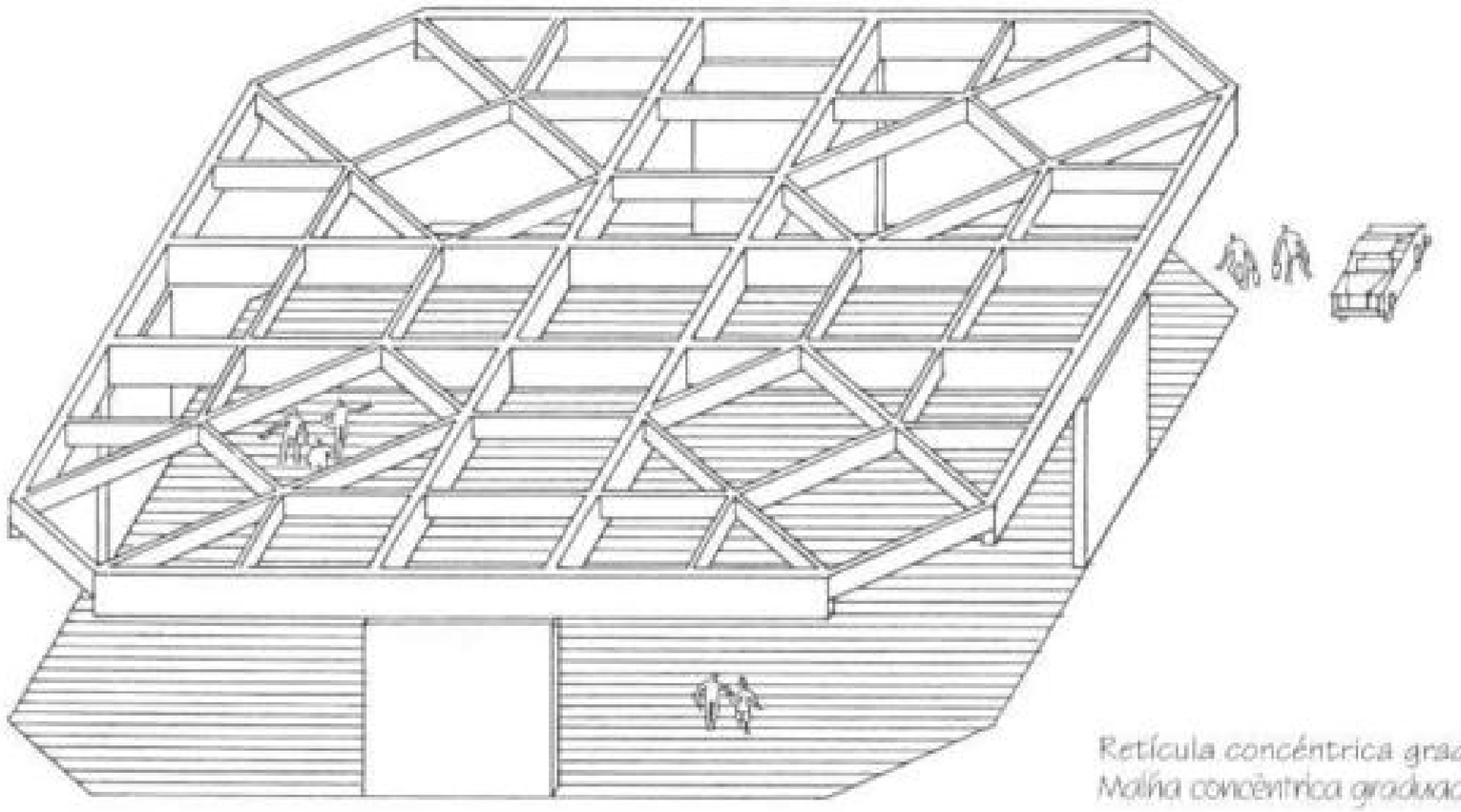
Retícula concêntrica graduada
Malha concêntrica graduada

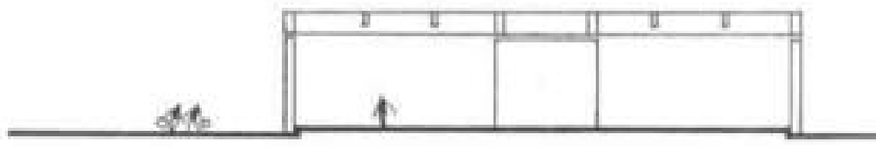


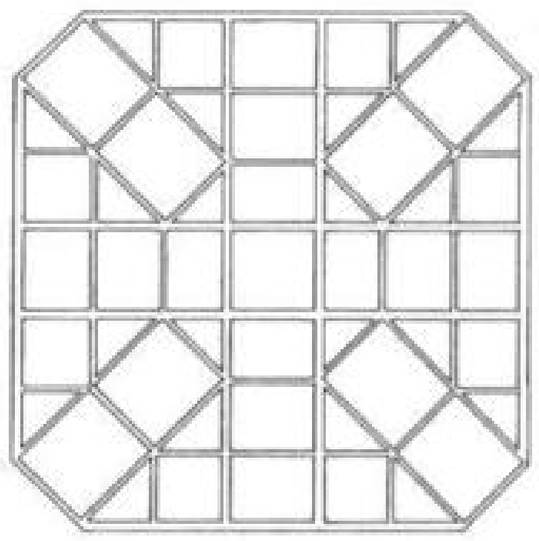




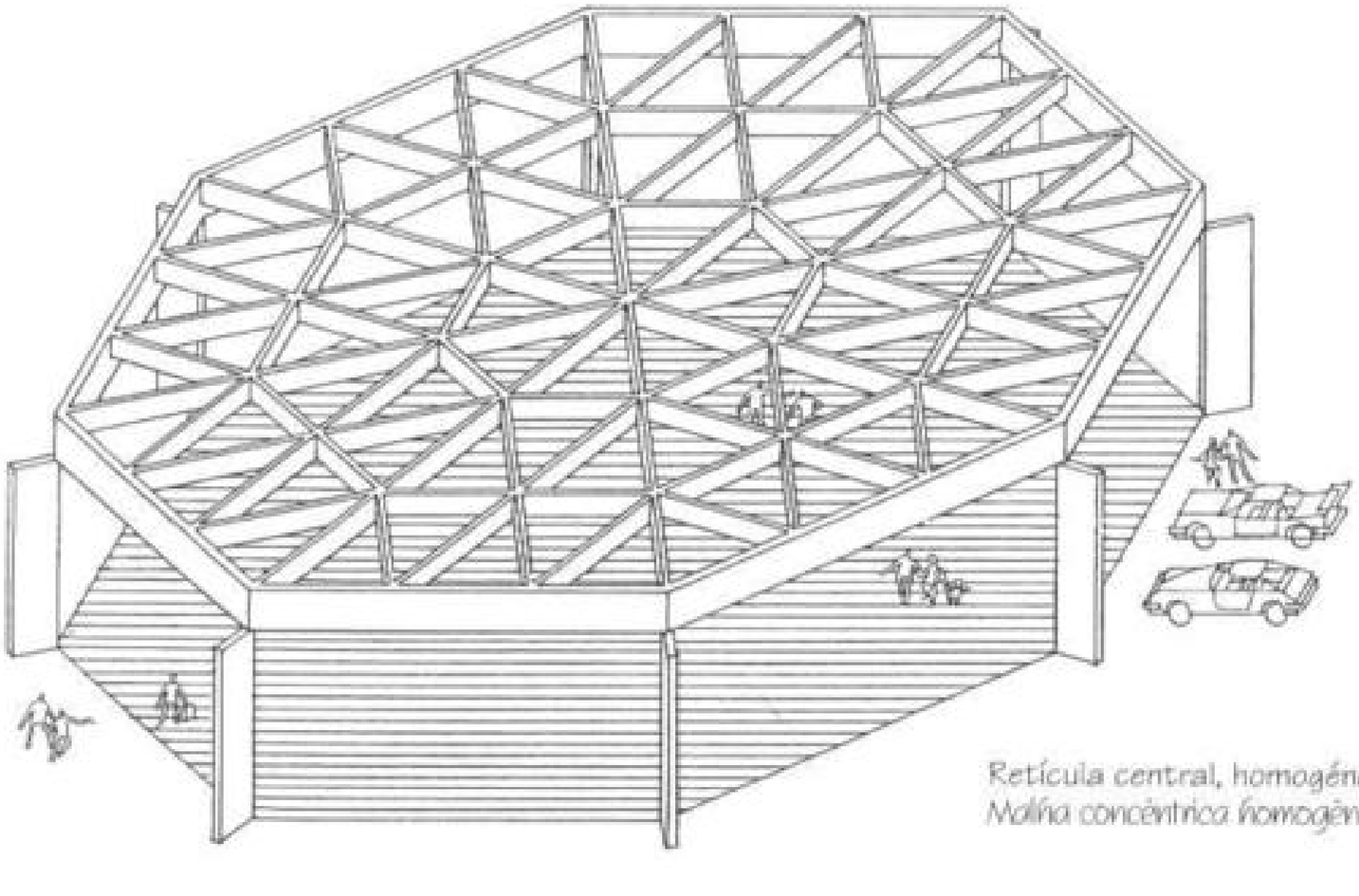
Retícula oblicua homogénea
*Malha homogênea em modelo oblíquo*

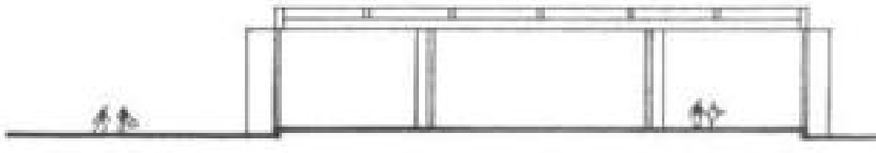


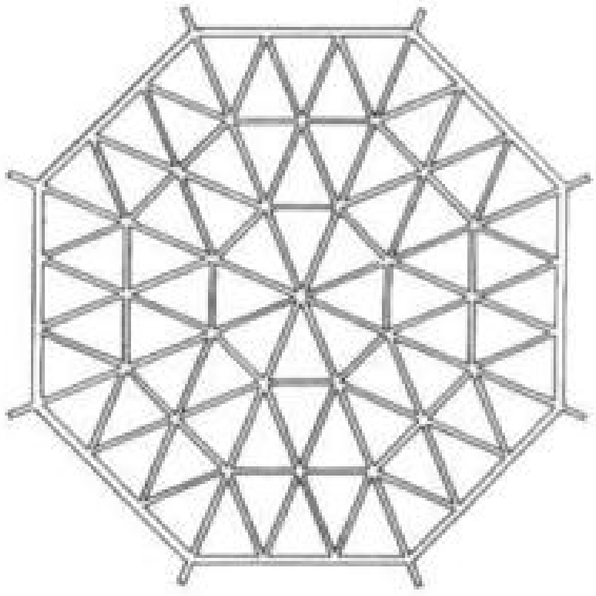




Retícula concéntrica graduada
*Malha concêntrica graduada*

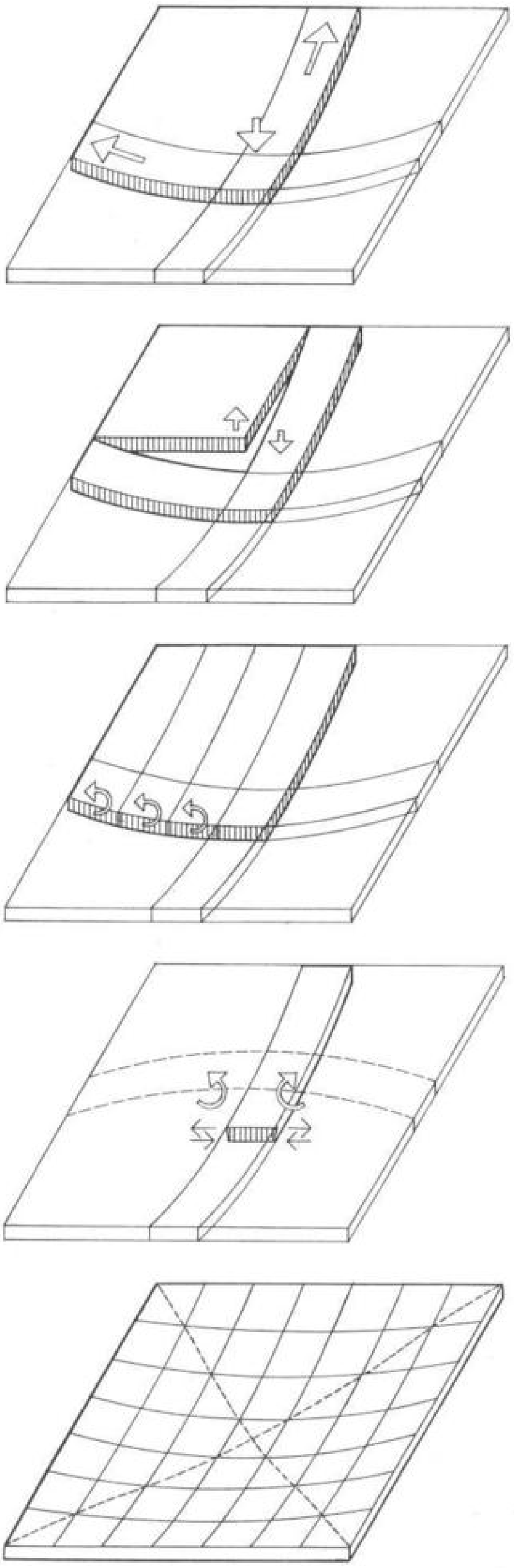






Retícula central, homogénea y triangular
*Malha concêntrica homogênea em modelo triangular*

## Mecánica portante de una losa plana apoyada por sus cuatro lados



Efecto viga

Mediante la mecánica de flexión (combinación de tracción, compresión y esfuerzo cortante) se transmiten las cargas a los apoyos igual que en una viga

Reacción conjunta del sistema

Mediante fuerzas cortantes verticales se transmite la carga de la franja arqueada a la franja contigua. Con ello toda la estructura participa en la mecánica de resistencia, incluso en el caso de cargas puntuales

Mecánica de las fuerzas de torsión

A consecuencia de la deformación por flexión, las franjas de la losa giran en sentido perpendicular al eje portante: momento torsor. Mediante rigidez frente a la torsión se puede transmitir hasta la mitad de la carga a los apoyos

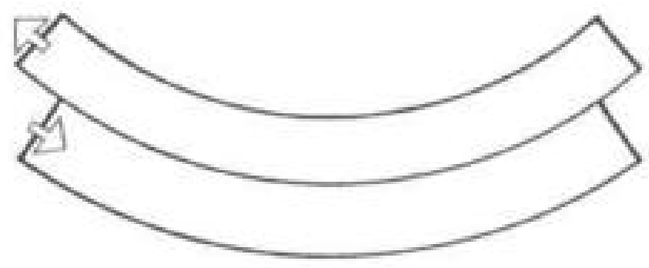
Flexión perpendicular negativa

Como el volumen del material se mantiene constante, la flexión de una franja de la losa produce un alargamiento de la zona comprimida y un acortamiento de la zona traccionada. Este proceso produce un momento de giro inverso en el eje transversal

Efecto de empotramiento en las diagonales

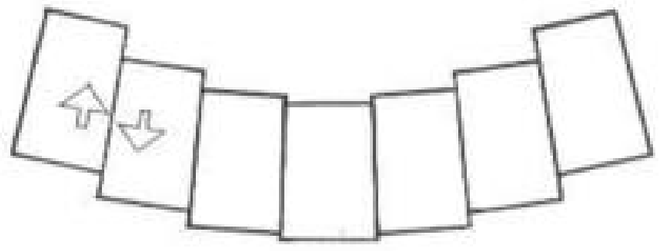
Las zonas de las esquinas, debido a la intersección en ángulo recto de dos apoyos, poseen una elevada rigidez. Con ello, las franjas diagonales de la losa no pueden girar libremente encima de los apoyos. Se comportan como vigas empotradas con una deformación por flexión invertida en los extremos y con una mayor capacidad portante

## Mecanismo portante de laje simplesmente apoiada



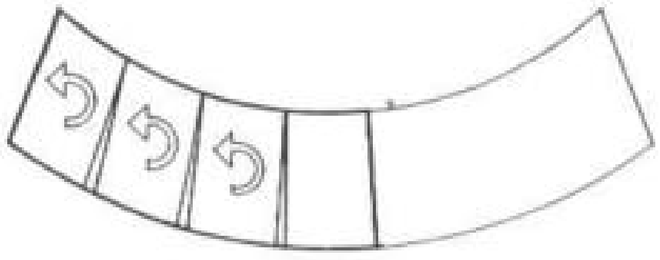
Resistência à flexão

Por meio do mecanismo de flexão (ação combinada de tração, compressão e cisalhamento), a carga é transmitida aos apoios, como em uma viga



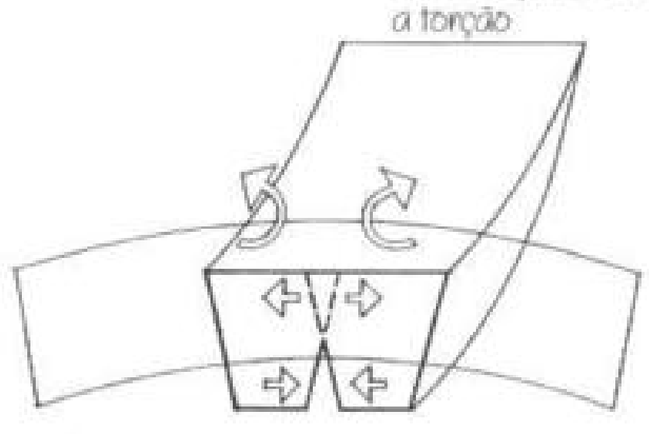
Resistência total do sistema

Através das forças de cisalhamento vertical, a carga é transmitida pela faixa defletida à faixa adjacente. De este modo, a todo o sistema é transmitido o mecanismo de resistência de deflexão, inclusive no caso de uma carga pontual



Mecanismo de força de torção

Como resultado da flexão por deflexão, as faixas da laje simples são torcidas transversalmente na direção do outro eixo: momento de torção. A metade da carga pode ser transmitida aos apoios através de enrijecedores contra a torção



Flexão negativa cruzada

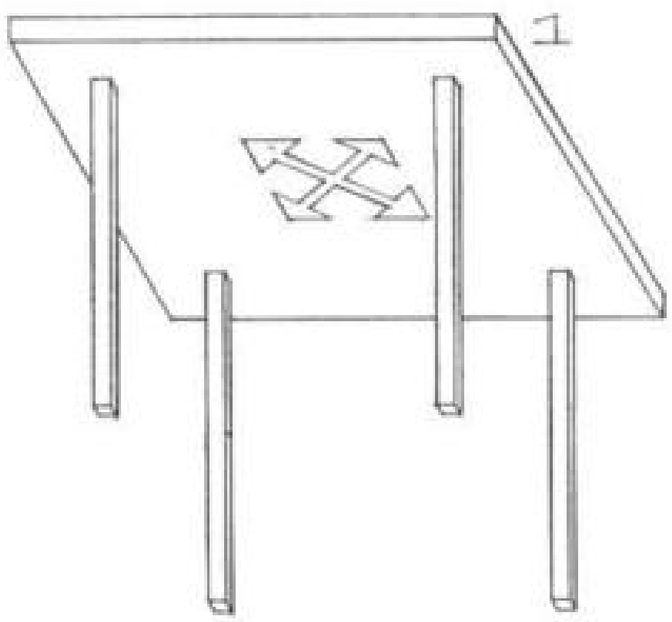
Em virtude da constância em volume do material, a flexão por deflexão da faixa da laje induz o aumento da área de compressão da seção e diminui a área de tensão. Esta ação conduz a um momento rotacional reverso no eixo transversal

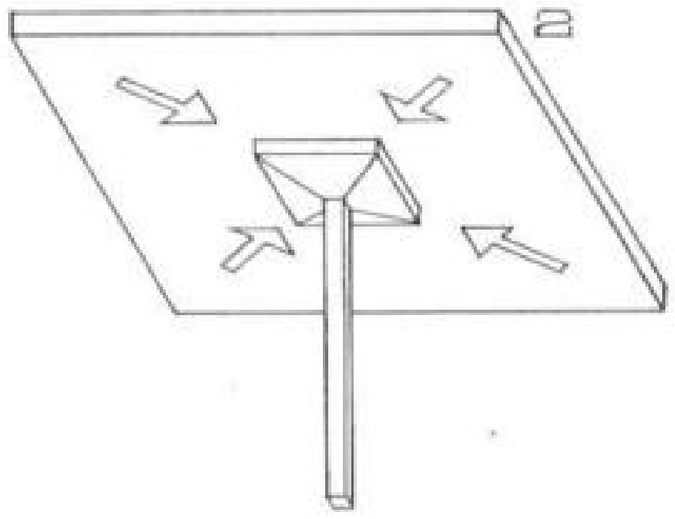
Ação de vigas fixas nas diagonais

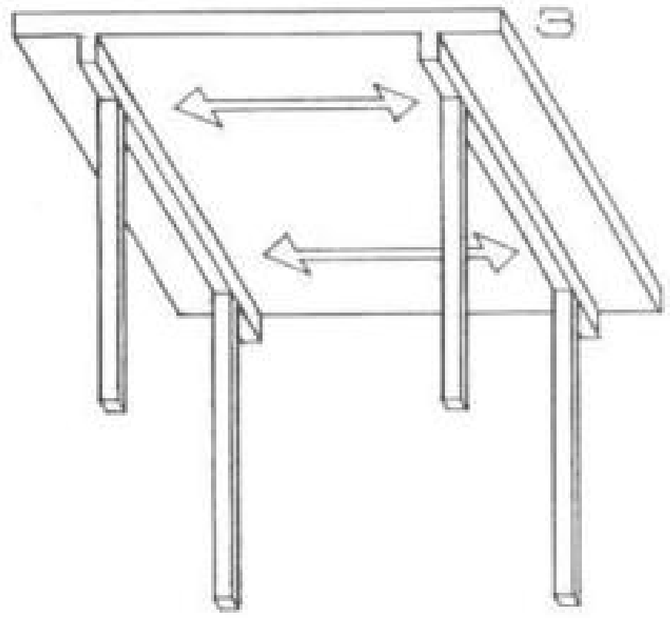
A área do canto da placa acusa um aumento de rigidez, em razão do fato de que nos cantos dois apoios de borda encontram-se em ângulo reto. Em conseqüência disso, as faixas diagonais da laje não podem girar livremente nos apoios. Agem como vigas fixas em suas extremidades com curvatura reversa e, por isso, aumentam a capacidade de resistência da laje

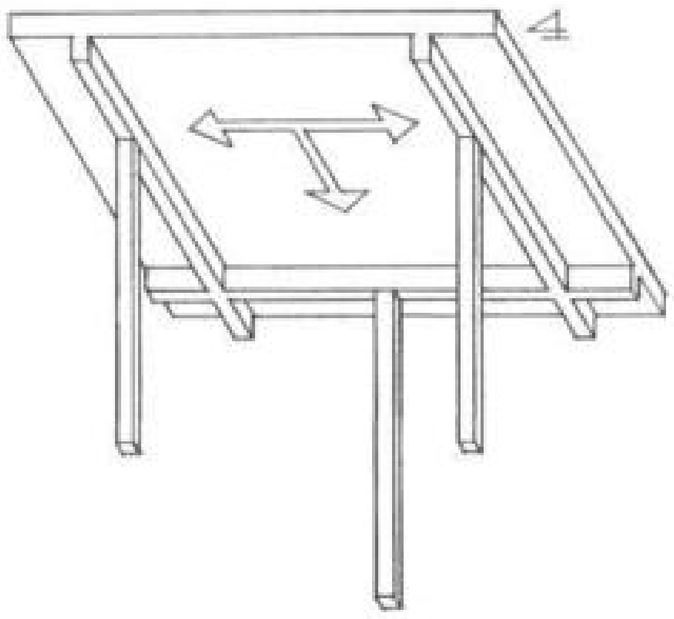
# Estructuras de losas: transmisión de la carga y optimización

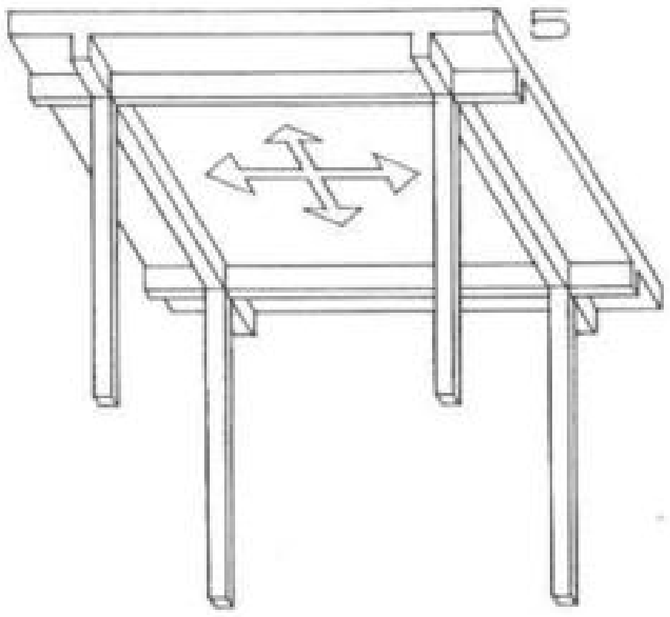
# Sistemas de laje estrutural: transmissão de carga e formas de otimização

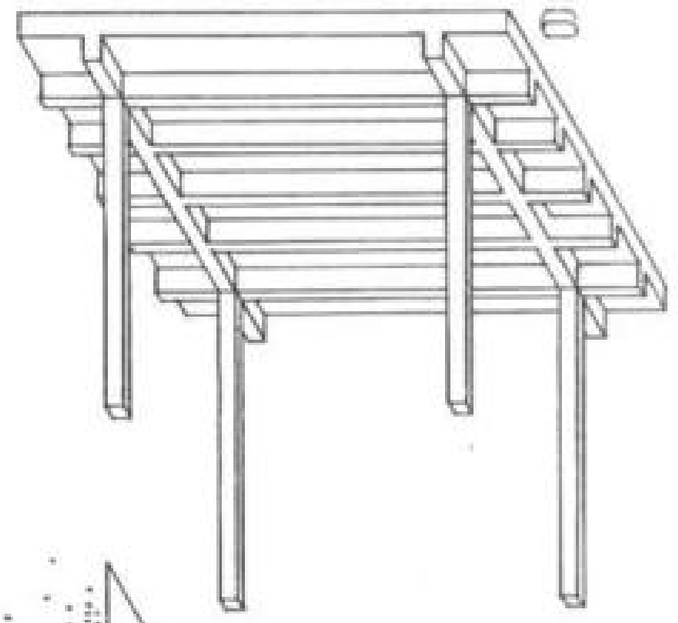


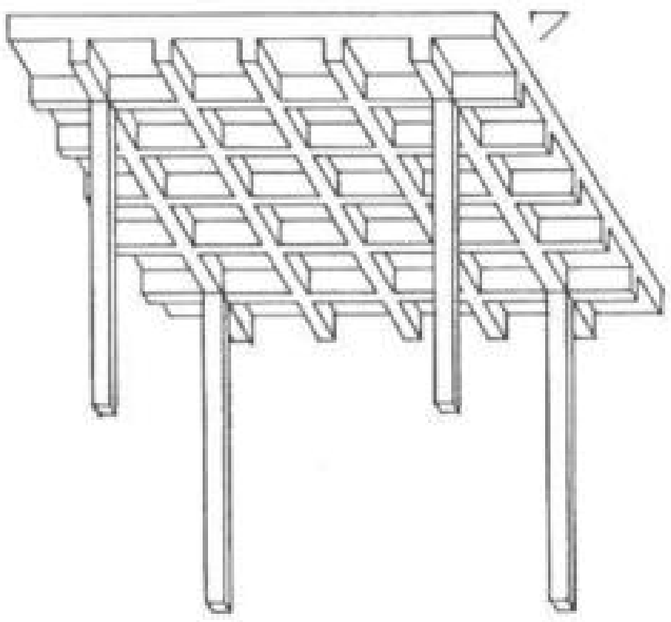



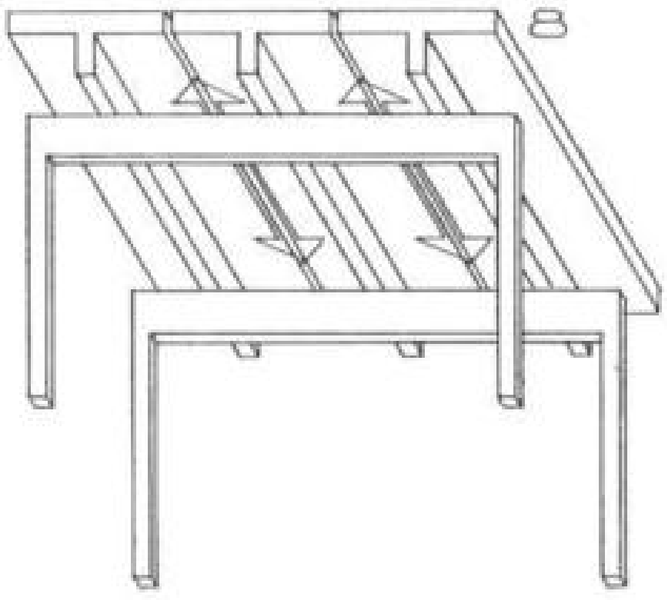



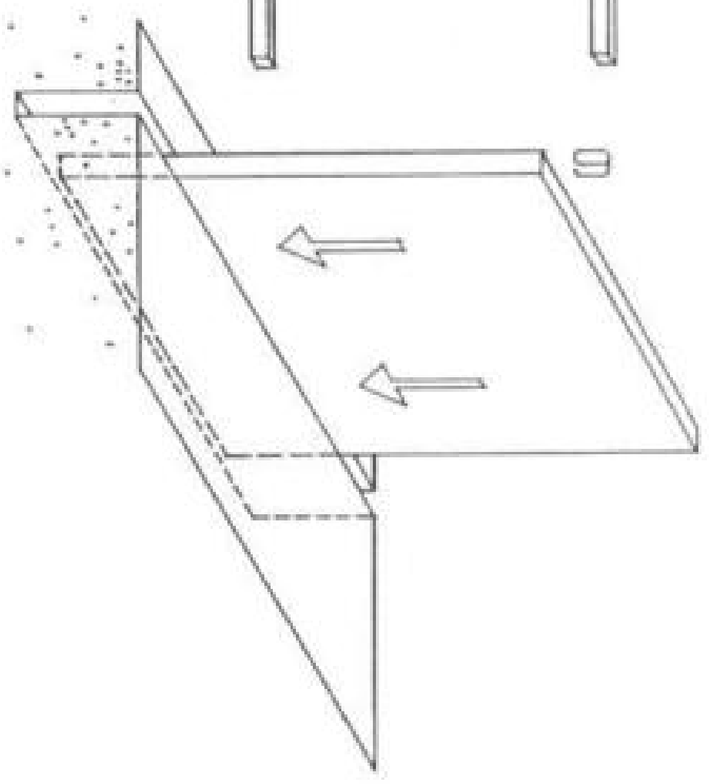



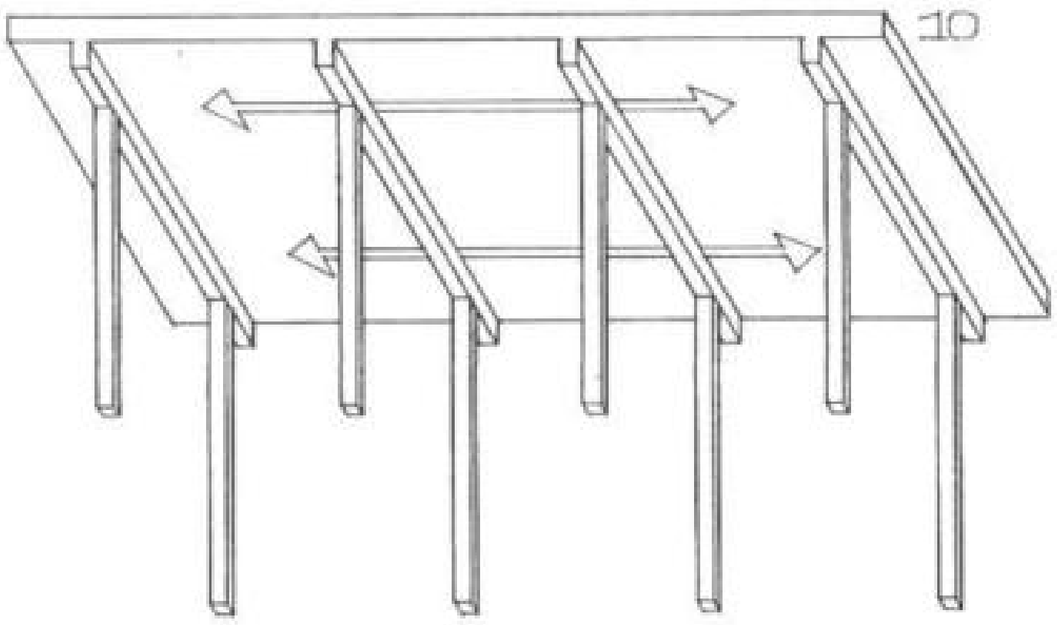




1 Losa plana atirantada en diagonal / forjado sin jácenas
*Laje plana atirantada em diagonal / pavimento sem viga*

2 Losa apoyada en un punto / forjado fungiforme (con refuerzo en punto apoyo)
*Laje com um ponto de apoio / laje cogumelo com reforço por embaixo*

3 Losa apoyada en dos lados opuestos / forjado atirantado en una dirección (p.e., armaduras)
*Laje com apoio simples em dois lados opostos / laje armada em uma direção*

4 Losa apoyada en tres lados
*Laje apoiada em três lados*

5 Losa apoyada en cuatro lados / forjado atirantado en dos direcciones (p.e., armaduras)
*Laje simplesmente apoiada / laje armada em duas direções*

6 Losa nervada / forjado nervado
*Laje nervurada / pavimento com nervuras*

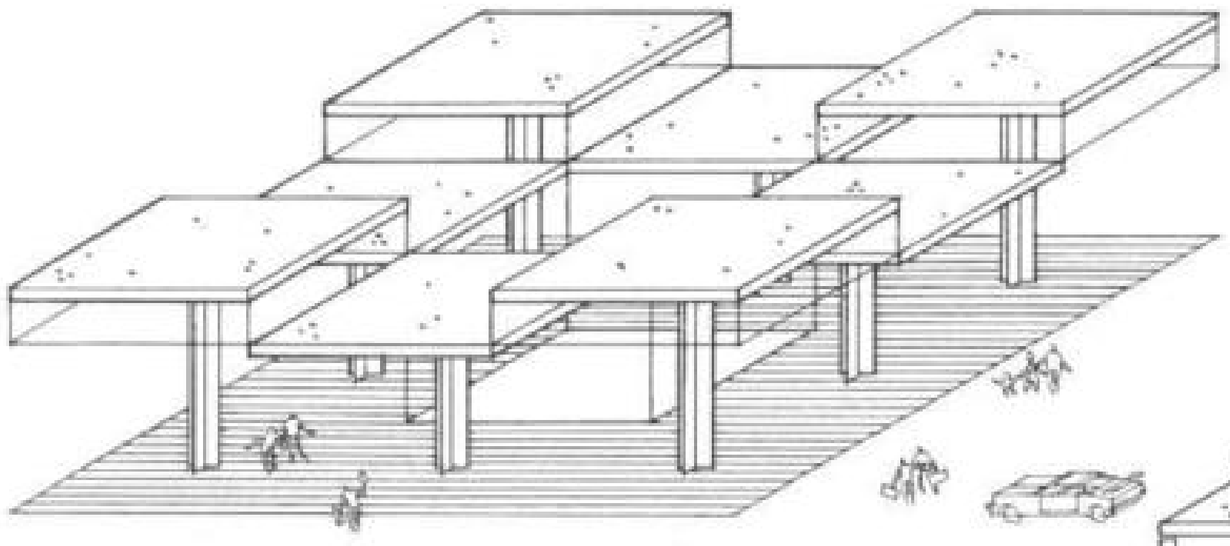
7 Losa de casetones / forjado de casetones
*Laje waffle / laje encofrada*

8 Forjado con vigas en T
*Pavimento com viga em T*

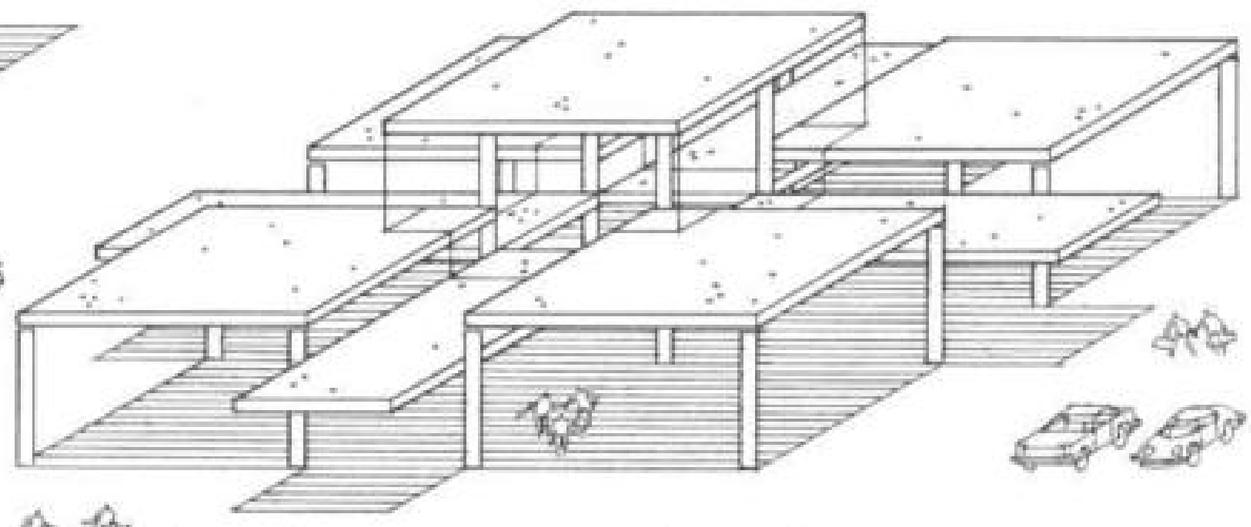
9 Losa con voladizos / losa empotrada
*Laje em balanço / laje de extremo fixo*

10 Losa con varios vanos
*Laje de vários vãos*

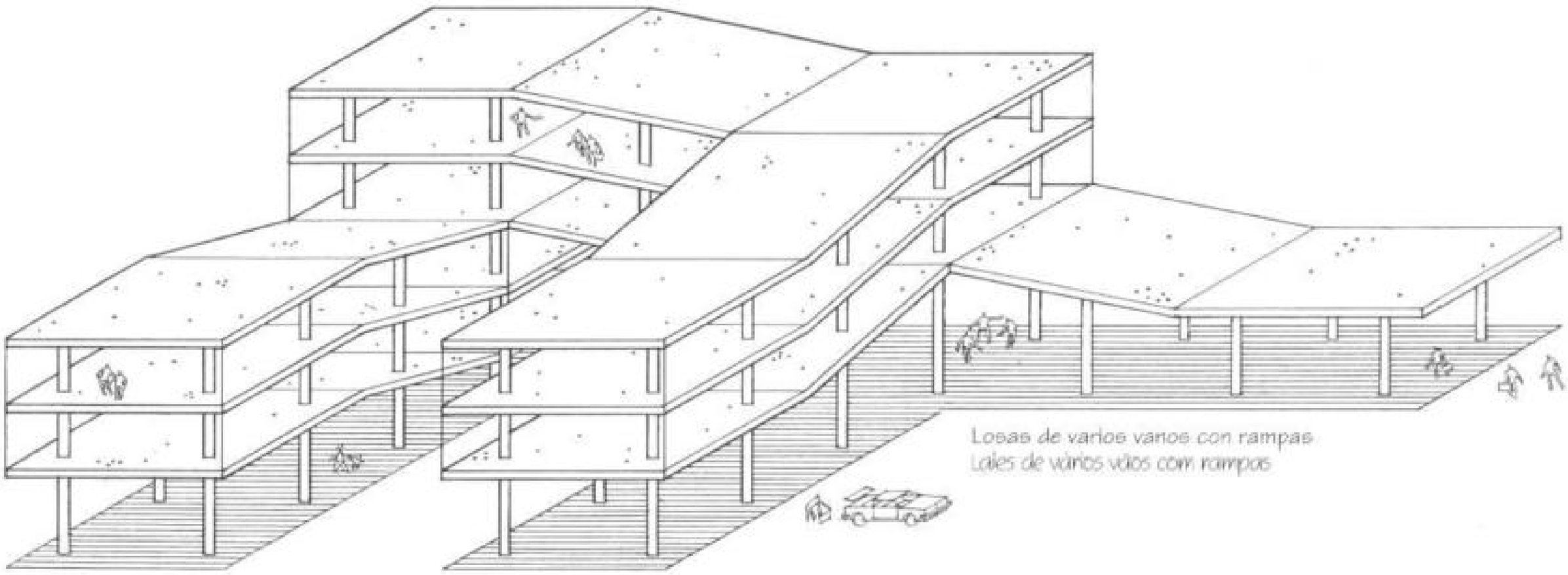
Ejemplos de estructuras a base de losas
Exemplos de sistemas estruturais de laies



Losas individuales con apoyo central / Laies simples com apoio central

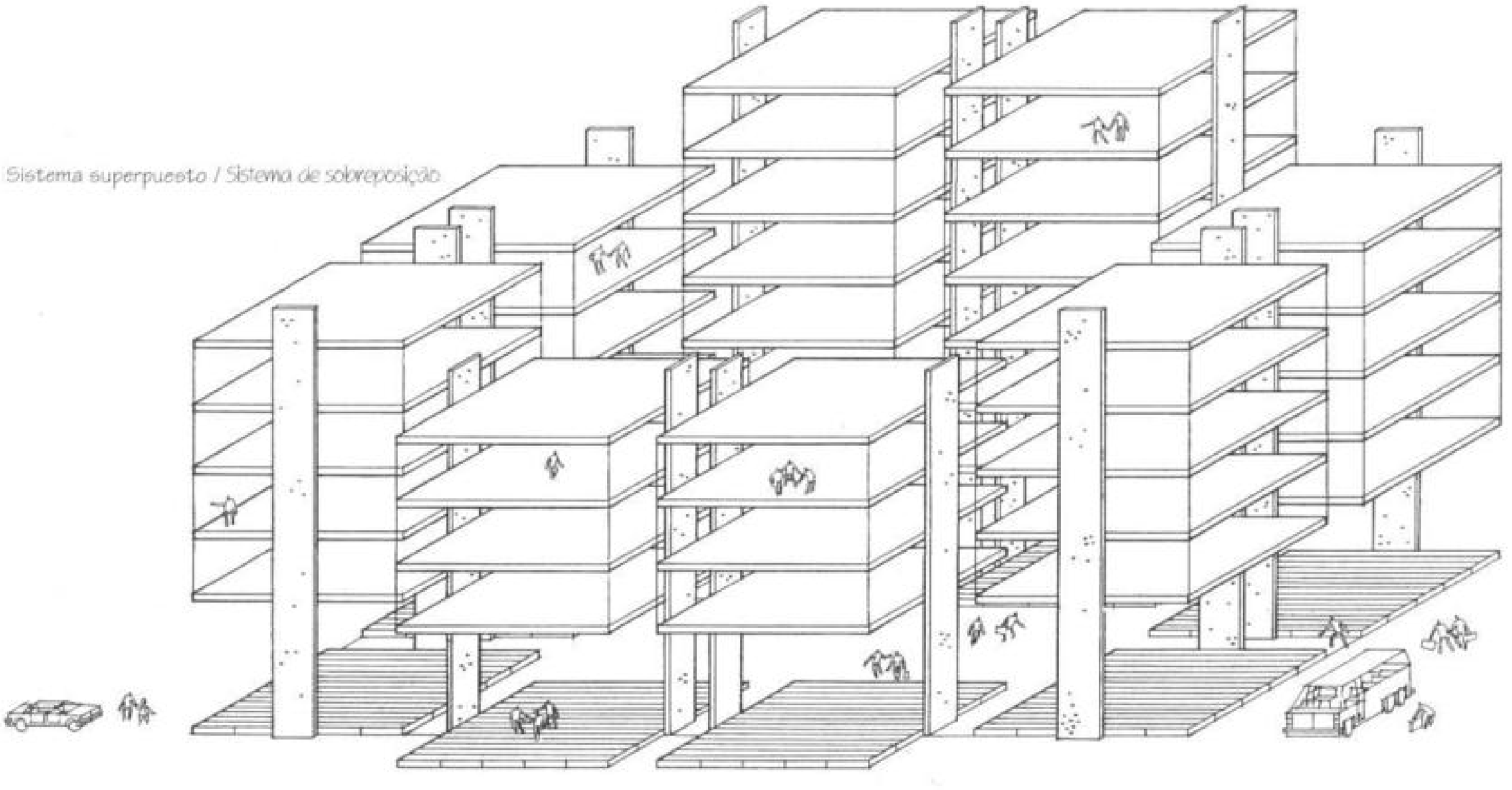


Losas de un vano con apoyos en las esquinas
Laies de vão único com apoios nas arestas

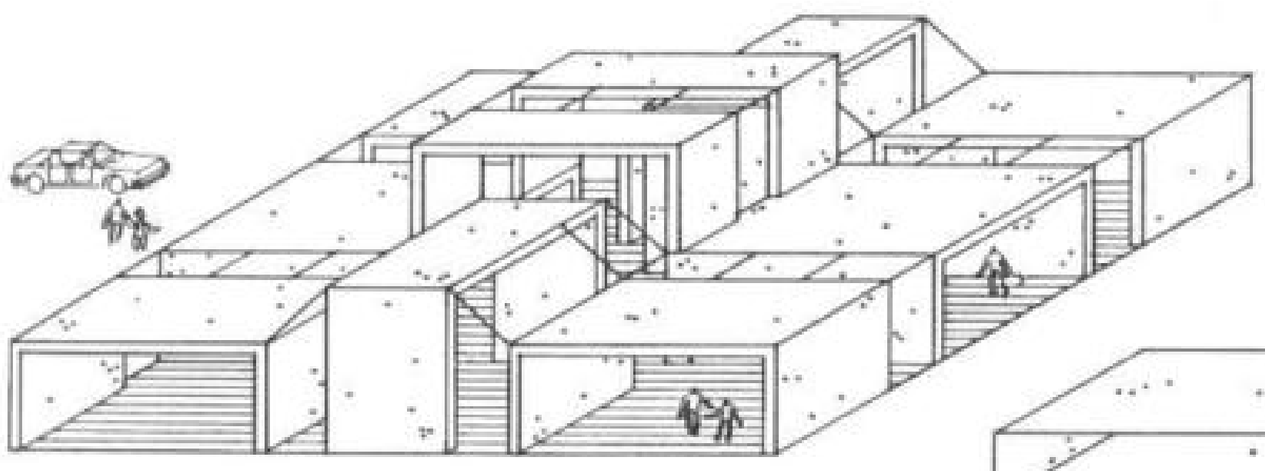


Losas de varios vanos con rampas
Laies de vários vãos com rampas

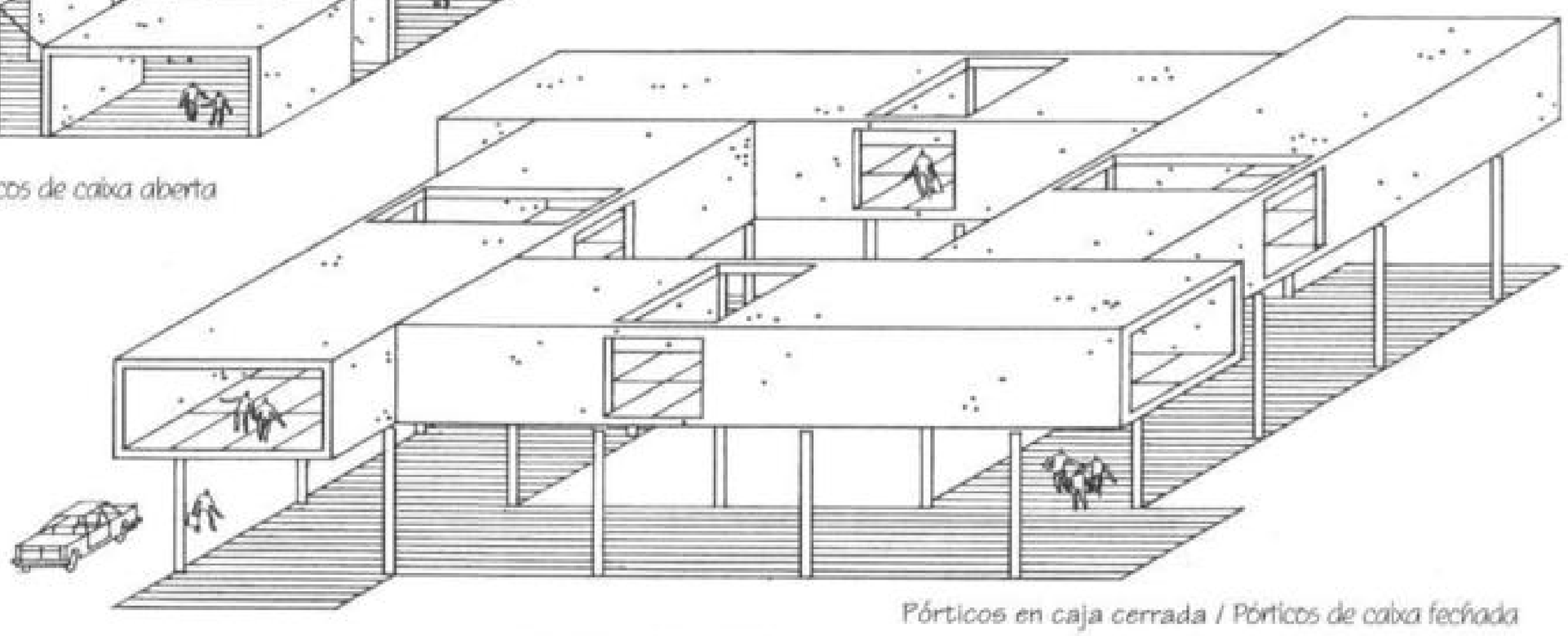
Sistema superpuesto / Sistema de sobreposição



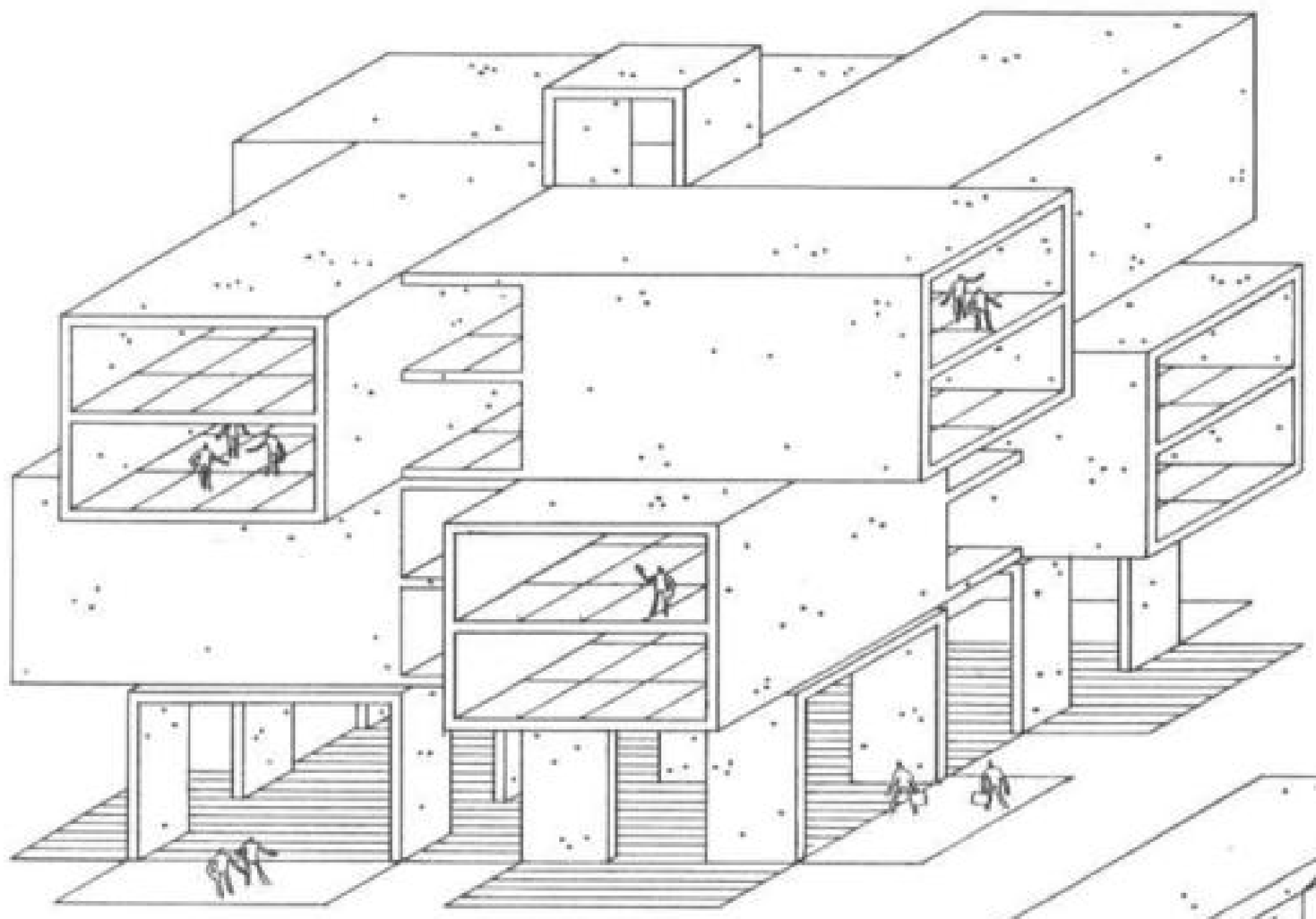
Ejemplos de pórticos a base de losas
Exemplos de sistemas de pórticos em caixa



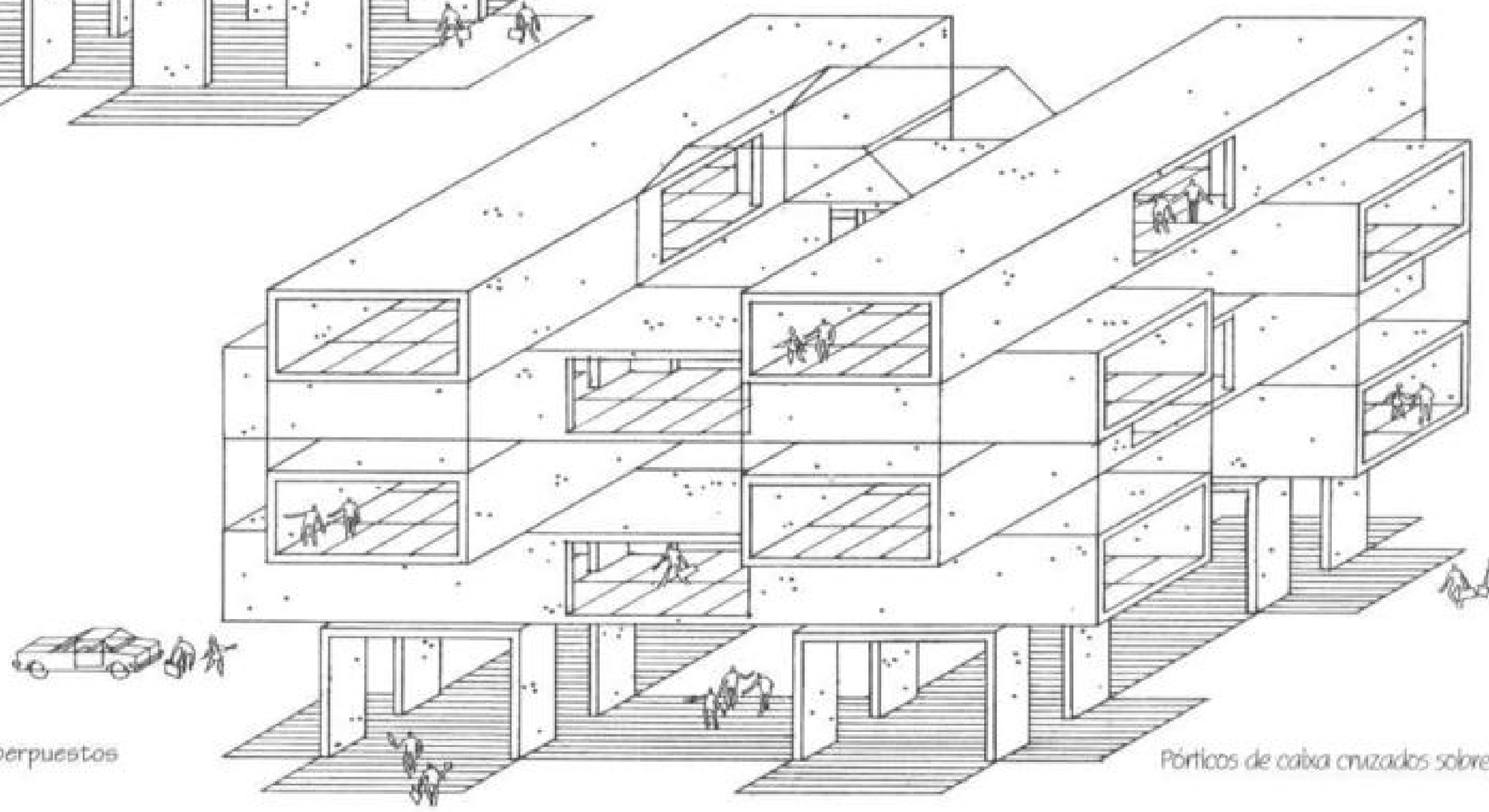
Pórticos en caja abierta / Pórticos de caixa aberta



Pórticos en caja cerrada / Pórticos de caixa fechada



Pórticos en caja de varias plantas
Pórticos de caixa de vários pavimentos



Pórticos en caja superpuestos

Pórticos de caixa cruzados sobreposta

# Sistemas de estructuras de superficie activa
# Sistemas estruturais de superfície-ativa

# 4

# Superficie activa

## Sistemas de estructuras de

# 4

Las superficies delimitadas y de forma determinada se constituyen en instrumento y criterio para definir un espacio. Las superficies sirven para subdivir y delimitar el espacio. Al subdividirlo, lo delimitan, y con ello crean un nuevo espacio.

Las superficies son el medio geométrico más eficaz y claro para definir un espacio desde el interior hacia el exterior, de nivel a nivel y de espacio a espacio.

Las superficies, debido a su propiedad de formar y determinar un espacio, son la abstracción más elemental con la que se manifiesta la arquitectura, en tanto que idea y realidad.

En la construcción, las superficies pueden satisfacer una función portante bajo determinadas condiciones: superficies estructurales. Las superficies estructurales pueden cubrir un espacio y soportar cargas sin otros medios auxiliares.

Las superficies estructurales se pueden unir para formar mecanismos que transmitan fuerzas: sistemas de estructuras de superficie activa. La continuidad constructiva de los elementos en dos ejes, es decir, la resistencia superficial frente a compresiones, tracciones y esfuerzos cortantes, son el requisito previo y la primera característica de las estructuras de superficie activa.

La capacidad de las superficies portantes para desviar fuerzas, es decir, transmitir cargas, depende de la situación de la superficie respecto a la dirección de la fuerza actuante.

El mecanismo portante de una superficie estructural es más eficaz si la superficie es paralela a la dirección de actuación de la fuerza externa (en el caso de la gravedad, en vertical); y es menos eficaz cuando la superficie es perpendicular a la dirección de la fuerza externa (en el caso de la gravedad, en horizontal).

Según cual sea la dirección de actuación de la fuerza externa en las superficies portantes, se activan dos mecanismos resistentes diferenciados o simultáneos: mecanismo de losa, en el caso de solicitaciones perpendiculares al plano, y mecanismo laminar en el caso de solicitaciones paralelas al plano.

Mientras que en las superficies estructurales horizontales, la capacidad portante, en el caso de cargas por gravedad, disminuye al aumentar la superficie (mecanismo de losa), en las superficies estructurales verticales crece la capacidad portante al aumentar la superficie (mecanismo de lámina).

Inclinando la superficie respecto a la dirección de la fuerza externa, doblándola o curvándola, es posible combinar la eficacia horizontal para cubrir un espacio y la eficacia vertical en la resistencia de la superficie frente a la gravedad.

La forma de la superficie es determinante para el mecanismo portante de las estructuras de superficie activa. El diseño de una forma correcta, junto con la continuidad de la superficie, es el segundo requisito previo y la segunda característica de las estructuras de superficie activa.

En los sistemas de estructuras de superficie activa es fundamental una forma correcta que transmita las fuerzas externas y las dristribuya uniformemente en pequeñas unidades por toda la superficie. Dar con la forma apropiada para una superficie –desde el punto de vista estructural, funcional y estético– es un acto creativo: es arte.

Al diseñar la forma apropiada se integra el mecanismo de las estructuras de forma activa: la eficacia sustentante del arco y la eficacia de suspensión del cable.

También los mecanismos de las estructuras de sección activa, como la viga continua o el pórtico articulado, se pueden expresar con el vocabulario de las superficies portantes, igual que los mecanismos de las estructuras de forma o vector activos. Esto significa que todas las estructuras se pueden interpretar con elementos de superficie activa y con ello se convierten en megaestructuras para las estructuras de superficie activa.

Para que funcione el mecanismo portante es imprescindible que se conserve la forma portante rigidizando el perímetro y el perfil de la superficie. El problema consiste en diseñar los elementos de rigidización de manera que no se produzca un cambio brusco en el grado de rigidez entre la superficie y el rigidizador, para evitar que en la zona de unión aparezcan tensiones excesivas.

Los sistemas de estructuras de superficie activa son al mismo tiempo envolvente del espacio interior y piel externa del edificio; en consecuencia, determinan tanto la forma del espacio interior como la imagen exterior. Por ello, son parte esencial del aspecto definitivo de un edificio y un criterio para valorar su calidad como máquina funcional y eficiente, y como forma con un significado estético.

Debido a la identidad entre estructura y edificio construido, los sistemas de estructuras de superficie activa no permiten tolerancia ni distinción entre estructura y edificio. Como la forma portante no es arbitraria, el espacio y la forma del edificio, y con ellos la voluntad del arquitecto, están sujetos a las leyes de la mecánica.

Por lo tanto, proyectar con superficies portantes implica una disciplina. Cualquier desviación de la forma correcta influye en la rentabilidad del mecanismo e incluso puede afectar a su funcionamiento.

A pesar de las leyes comunes a las que está sometido cualquier sistema de superficies estructurales, los mecanismos de las estructuras de superficie activa conocidos son muy numerosos. A pesar de ello, cualquiera de estos mecanismos, independientemente de su "manera de trabajo" tipica y de su forma básica característica contiene innumerables posibilidades para realizar un proyecto inventivo y original.

Construir con superficies portantes presupone, por tanto, un conocimiento de los sistemas portantes de superficie activa: su "manera de trabajar", su geometria y su importancia para la forma y el espacio en la construcción.

Así pues, conocer las posibilidades de cómo se puede desarrollar un conjunto autoportante y capaz de soportar cargas mediante superficies configuradoras de espacios, es imprescindible para cualquier arquitecto o ingeniero proyectista.

# 4 Superfície-ativa

## Sistemas estruturais de



As superfícies, limitadas e determinadas em sua forma, constituem um instrumento e um critério na definição do espaço. As superfícies delimitam o espaço. E assim o dividem, limitando um novo espaço.

As superfícies são os meios geométricos mais eficazes e claros de definir o espaço, do interior ao exterior, de elevação a elevação, de espaço a espaço.

As superfícies, em razão da sua natureza de formar e determinar espaços, são a abstração elementar mediante a qual a arquitetura manifesta-se, tanto como idéia quanto como realidade.

Os elementos de superfície, na construção, sob certas condições, podem desempenhar funções portadoras de carga: superficies estruturais. Sem recursos adicionais, podem elevar-se livremente no espaço enquanto transmitem cargas.

As superfícies estruturais podem ser compostas para formar mecanismos que reorientam as forças: sistemas estruturais de superfície-ativa. A continuidade estrutural dos elementos em dois eixos, isto é, superfície resistente à compressão, tração e cisalhamento, é o primeiro requisito e a primeira característica das estruturas de superfície-ativa.

O potencial da superfície estrutural para fazer as forças mudarem de direção, isto é, para transmitir cargas, depende da posição da superfície com relação à direção da força atuante.

O mecanismo portante de uma superfície estrutural é mais eficaz quando a superfície é paralela à direção da força atuante (para as forças gravitacionais verticais) ; e é menos eficaz quando a superfície está em ângulo reto com a direção da força atuante (para forças gravitacionais horizontais).

Na superfície estrutural plana, segundo a direção da força atuante, dois diferentes mecanismos de resistência ou suas combinações são acionados: mecanimo de laje, se a força atuante for dirigida em ângulo reto com a superfície ; mecanismo de placa, se a força atuante for dirigida paralela à superfície.

Enquanto nas superfícies estruturais horizontais a capacidade portante sob carga gravitacional diminui com o aumento da superfície (mecanismo de laje), nas superfícies estruturais verticais a capacidade portante aumenta com a expansão da superfície (mecanismo de placa).

Por meio de inclinação da superfície na direção da força atuante, através de curva ou dobra, é possível conciliar a oposição entre uma eficiência horizontal, na cobertura do espaço, e eficiência vertical, na resistência às forças gravitacionais.

A forma da superfície determina o mecanismo portante dos sistemas de superfície-ativa. O projeto da forma correta é, juntamente com a continuidade superficial, o segundo pré-requisito e a segunda característica dos sistemas estruturais de superfície-ativa.

Nas estruturas de superfície-ativa é fundamental uma forma adequada que reoriente as forças atuantes, distribuindo-as em pequenos esforços unitários sobre a superfície. O desenvolvimento de uma forma adequada para a superfície –desde os pontos de vista estrutural, utilitário e estético– é um ato criativo: é arte.

Ao elaborar o projeto de uma forma adequada para a superfície, o mecanismo das estruturas de forma-ativa é integrado: ação de suporte do arco e ação de suspensão do cabo.

Os mecanismos dos sistemas estruturais de seção-ativa, como a viga contínua ou os pórticos articulados, também podem ser expressos pelo vocabulário de superfícies estruturais, assim como os mecanismos dos sistemas estruturais de forma-ativa e vetor-ativo. Isto é, todos os sistemas estruturais podem ser interpretados com elementos de superfície-ativa, podendo assim tornar-se superestruturas cujos elementos são sistemas estruturais de superfície-ativa.

A preservação da forma estrutural através do enrijecimento da borda e do perfil da superfície é uma condição fundamental para o funcionamento do mecanismo portante. A dificuldade então é projetar os elementos enrijecedores de modo a evitar qualquer variação abrupta tanto da rigidez quanto da tendência à deflexão, pois isso tensionaria criticamente a zona de junção.

Os sistemas estruturais de superfície-ativa são, simultaneamente, o invólucro do espaço interno e a casca externa da construção, e, conseqüentemente, determinam a forma e o espaço desta. Assim, são parte essencial da construção e critério de sua qualidade: são como uma máquina racional e eficiente ou como uma forma estética significativa.

Por causa da identidade entre a estrutura e a materialidade da edificação, as estruturas de superfície-ativa não permitem tolerância nem distinção entre estrutura e construção. E visto que a forma estrutural não é arbitrária, o espaço e a forma da construção, juntamente com a vontade do arquiteto, encontram-se sujeitos às leis da mecânica.

O projeto com superfícies estruturais está, portanto, sujeito a uma disciplina. Qualquer desvio da forma adequada influi na economia do mecanismo e pode comprometer também seu funcionamento.

Além das leis comuns às quais qualquer sistema de superfícies estruturais está sujeito, são inúmeros os mecanismos dos sistemas estruturais de superfície-ativa conhecidos. Apesar disso, embora cada um desses mecanismos possua seu modo típico de funcionamento e sua forma básica peculiar, há, para cada um, inúmeras possibilidades de projetos originais.

A construção com superfícies estruturais requer, então, o conhecimento dos mecanismos dos sistemas estruturais de superfície-ativa: seu modo de funcionamento, sua geometria, sua significação para a forma e o espaço arquitetônico.

O conhecimento das possibilidades de como desenvolver um sistema autoportante e de transmissão de carga, baseado em superfícies que englobam um espaço, é o princípio de estudo fundamental para o projetista e o arquiteto.

# Superficie activa

## Sistemas de estructuras de 4

Definición / Definição

Los SISTEMAS DE ESTRUCTURAS DE SUPERFICIE ACTIVA son sistemas de superficies flexibles que, a pesar de no resistir flexiones, resisten esfuerzos cortantes, de tracción y de compresión en los que la redirección de las fuerzas se efectúa mediante la RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE y una FORMA ADECUADA DE LA SUPERFICIE

SISTEMAS ESTRUTURAIS DE SUPERFÍCIE-ATIVA são sistemas de superfícies flexíveis, mas resistentes à compressão, tensão e cisalhamento, nos quais a redistribuição de forças é efetuada pela RESISTÊNCIA DA SUPERFÍCIE e uma FORMA DE SUPERFÍCIE especial

Fuerzas / Forças

Los elementos del sistema están sometidos, en primer lugar, a solicitaciones de membrana, es decir, a fuerzas que actúan en paralelo a la superficie: SISTEMAS EN UN ESTADO DE TENSIONES CARACTERÍSTICO DE LAS MEMBRANAS

Os elementos do sistema são primariamente sujeitos a esforços de membrana, isto é, esforços que atuam paralelamente à superfície: SISTEMAS EM CONDIÇÕES DE ESFORÇOS DE MEMBRANAS

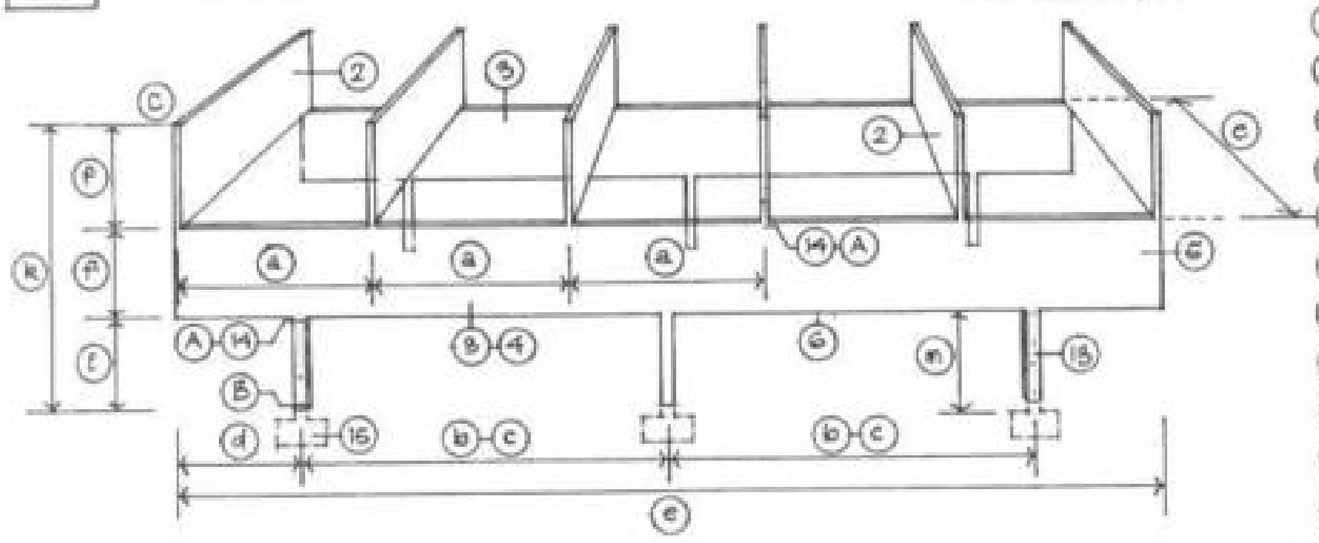
Características

Las características estructurales básicas son: ESTRUCTURA PORTANTE como DELIMITACIÓN ESPACIAL y CONFIGURACIÓN DE LAS SUPERFICIES

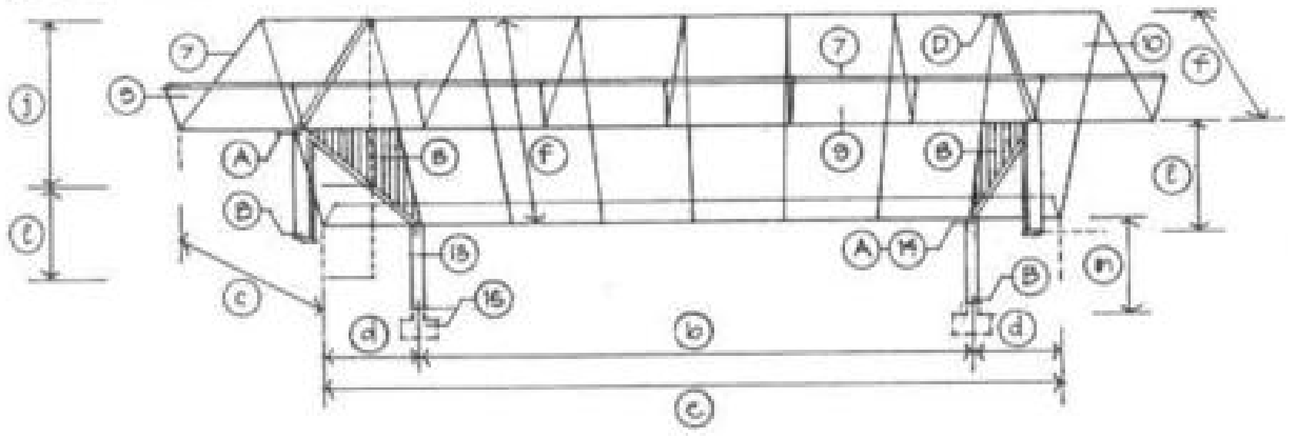
As características típicas desta estrutura são: ESTRUTURA como DELIMITAÇÃO ESPACIAL e FORMA DE SUPERFÍCIE

## Componentes y denominaciones / Componentes e denominações

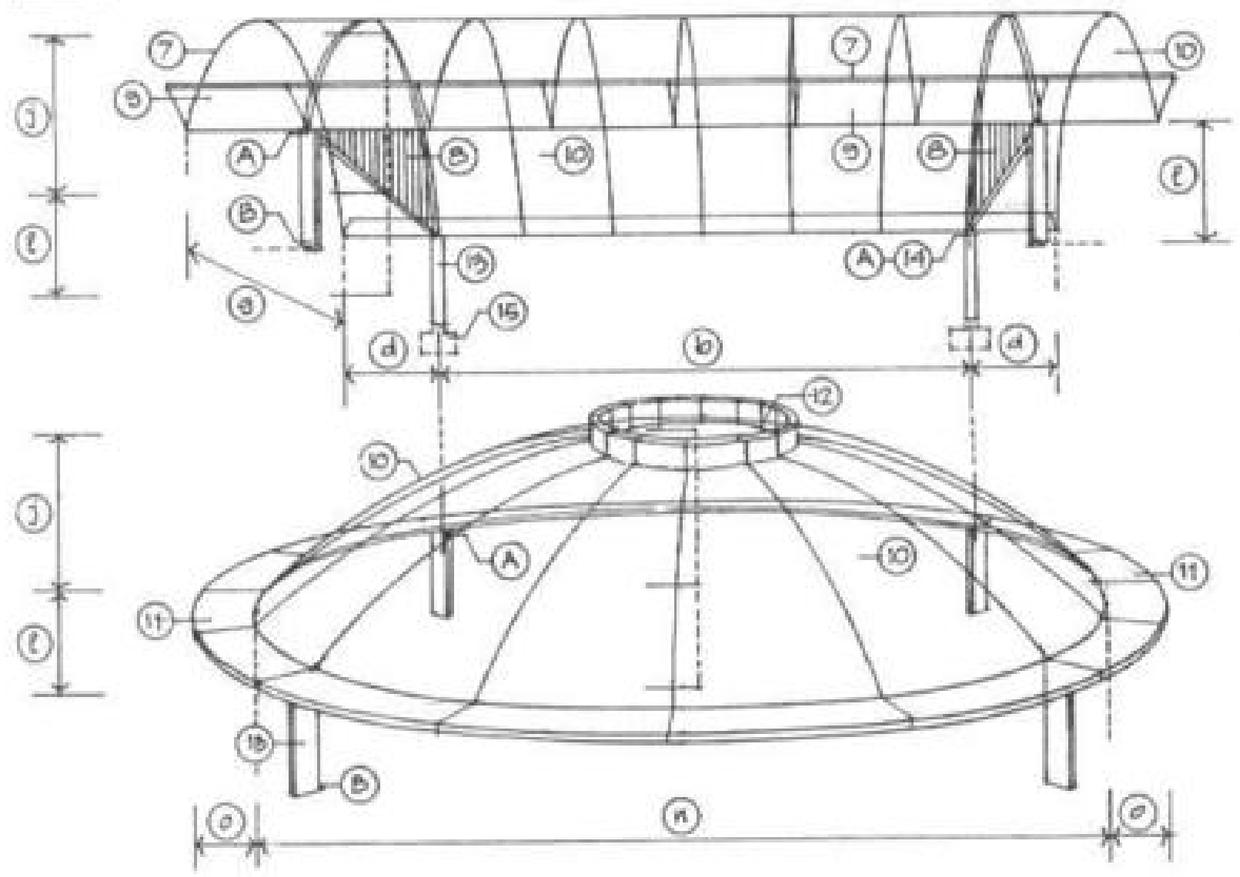
4.1 Sistemas de láminas / Sistemas de placas



4.2 Sistemas de láminas plegadas / Sistemas de placas dobradas



4.3 Sistemas de membranas / Sistemas de casca



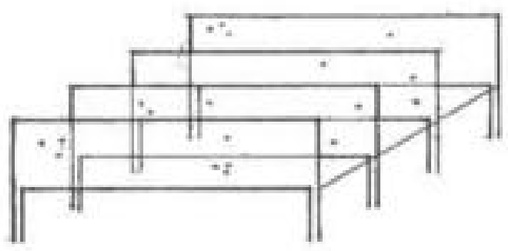
| Componentes del sistema | Componentes do sistema |
|---|---|
| ① Lámina (portante), paño | (estrut.) Placa, painel, parede cisalhada |
| ② Lámina perpendicular, transversal | Placa cruzada, placa transversal |
| ③ Lámina longitudinal | Placa longitudinal |
| ④ Cordón inferior de lámina, viga de lámina | Viga de borda (placa) |
| ⑤ Voladizo | Balanço |
| ⑥ Perímetro de lámina | Placa de borda, placa limite |
| ⑦ Perímetro de membrana | Casca de borda |
| ⑧ Rigidización perpendicular, lámina perpendicular | Diafragma, reforço cruzado |
| ⑨ Rigidizador perimetral | Reforço de borda, viga de borda |
| ⑩ Membrana laminar, membrana portante | Membrana em casca, membrana portante |
| ⑪ Zuncho perimetral, anillo de base, anillo a tracción | Viga anular, anel de base, anel de tensão |
| ⑫ Anillo a compresión | Anel de compressão |
| ⑬ Pilares | Coluna, apoio |
| ⑭ Apoyos | Suporte, apoio |
| ⑮ Cimentación | Fundação, base |

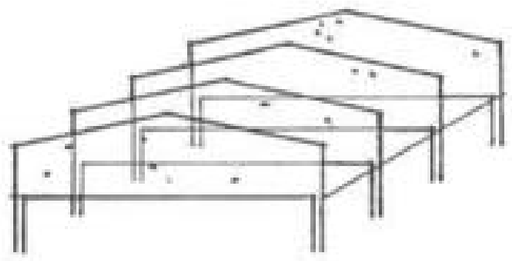
| Puntos topográficos del sistema | Sistema topográfico de pontos |
|---|---|
| Ⓐ Punto de apoyo | Ponto de apoio, ponto de suporte |
| Ⓑ Apoyo, punto de base | Ponto de base |
| Ⓒ Punto de alero | Ponto de beiral |
| Ⓓ Punto de cumbrera, vértice | Cumeeira, coroa, ápice, vértice |
| Ⓔ Punto fijo de remate | Ponto extremo |

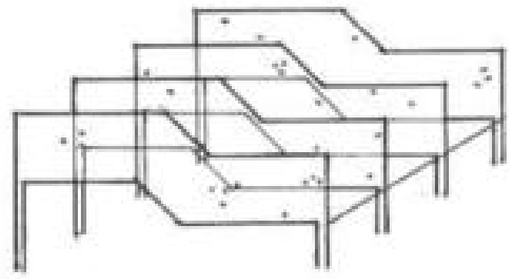
| Dimensiones del sistema | Dimensões do sistema |
|---|---|
| ⓐ Separación entre láminas | Espaço entre placas |
| ⓑ Luz entre láminas o membranas | Vão |
| ⓒ Separación entre pilares | Espaço entre colunas |
| ⓓ Longitud del voladizo | Comprimento do balanço |
| ⓔ Longitud de la lámina | Comprimento de placa, comprimento de painel |
| ⓕ Altura de la lámina | Altura de placa, altura de painel |
| ⓖ Anchura de la membrana | Espessura de casca |
| ⓗ Longitud de la membrana | Comprimento de casca |
| ⓘ Altura de construcción | Altura de construção |
| ⓙ Altura de los pilares | Elevação |
| ⓚ Altura del alero | Altura de beiral |
| ⓛ Altura libre | Altura livre, espaço livre |
| ⓜ Altura de los pilares | Comprimento de coluna |
| ⓝ Diámetro de la membrana | Diâmetro de casca |
| ⓞ Anchura del zuncho perimetral | Espessura de viga anular (anel de tensão) |

## 4.1 Estructuras de láminas / Sistemas de placas

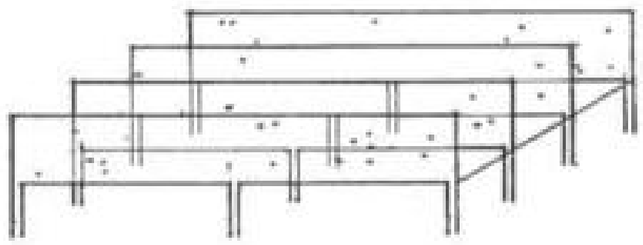
Láminas de un vano
Placas de vão único

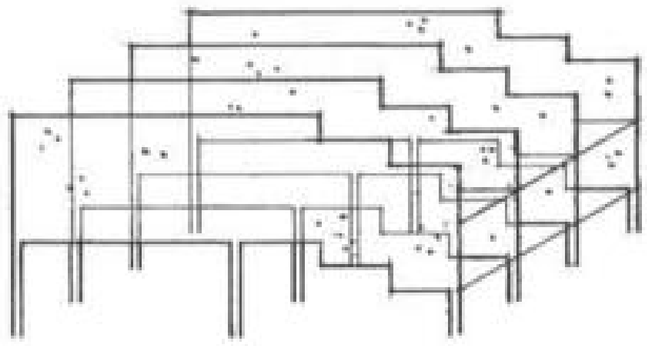




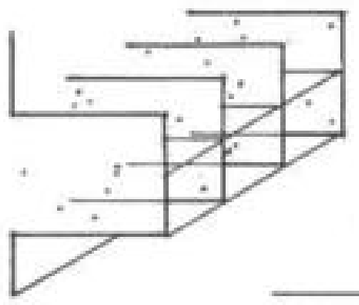


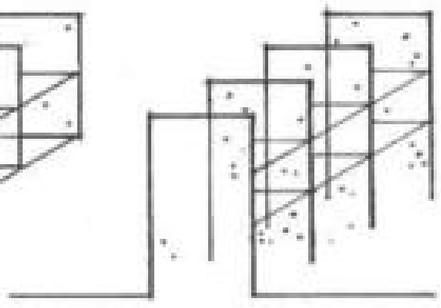
Láminas continuas
Placas contínuas

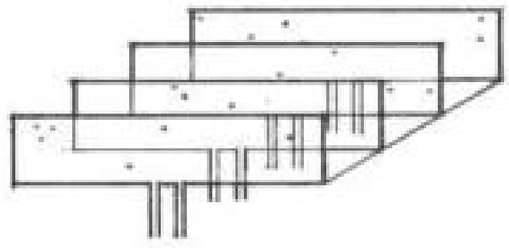




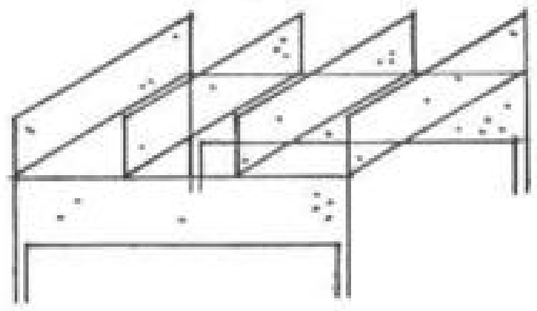
Láminas en voladizo
Placas em balanço

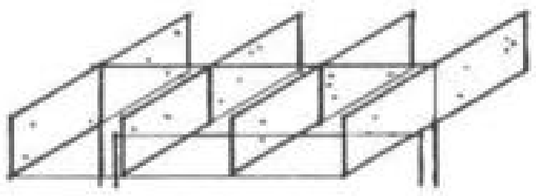


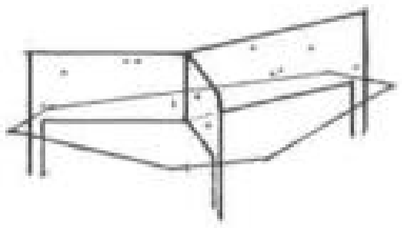




Láminas cruzadas
Placas cruzadas

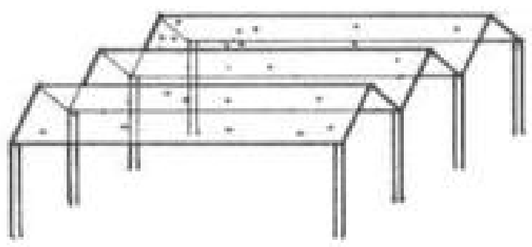


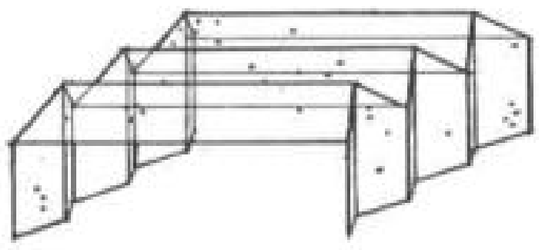


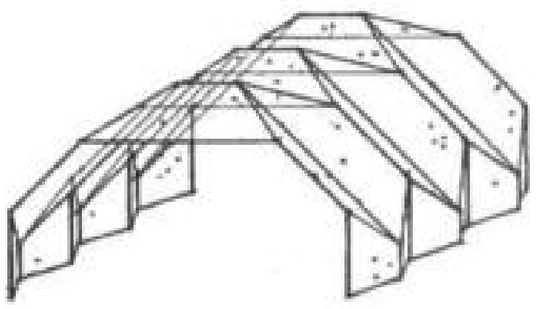


## 4.2 Sistemas de láminas plegadas / Sistemas de placa dobrada

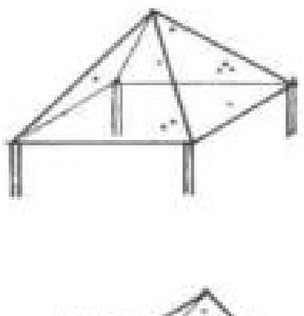
Láminas plegadas prismáticas
Placas dobradas prismáticas

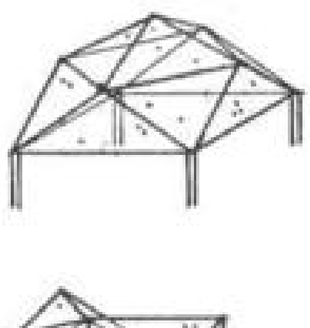




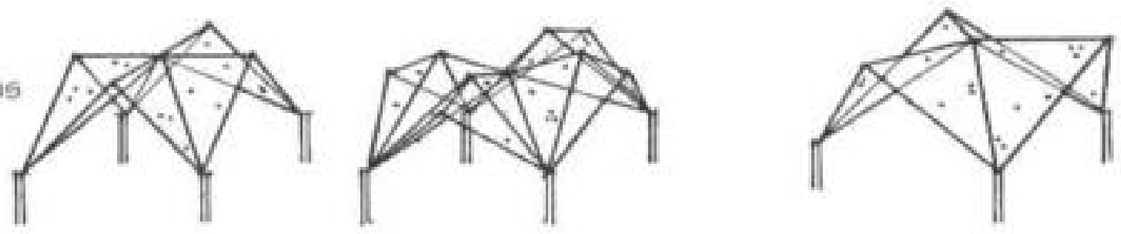


Láminas plegadas poliédricas
Placas dobradas poliédricas

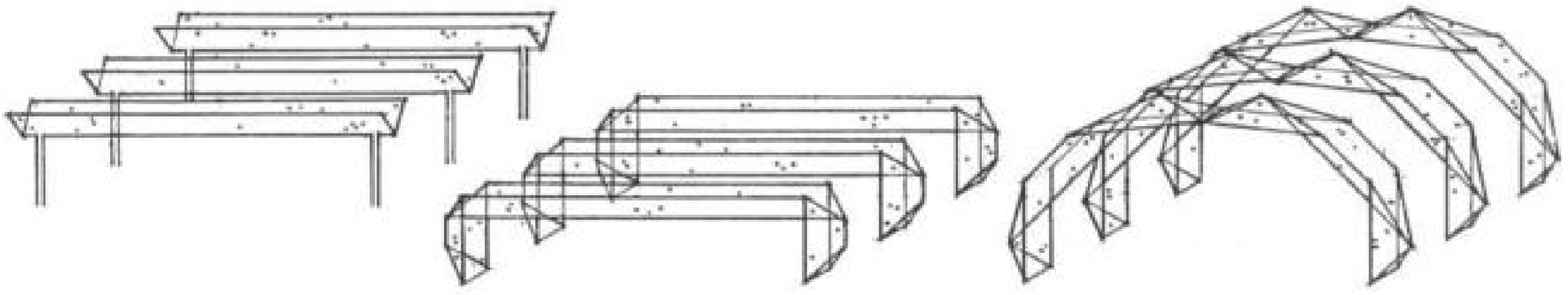




Láminas plegadas interseccionadas
Placas dobradas em interseção

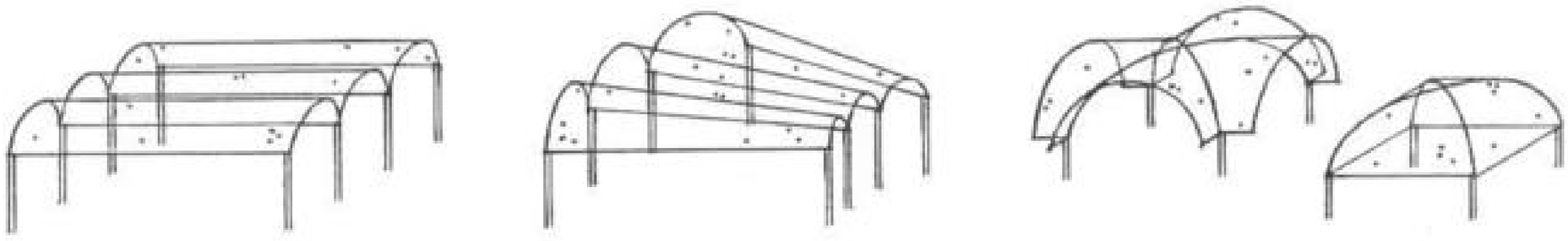


Láminas plegadas lineales
Placas dobradas lineares



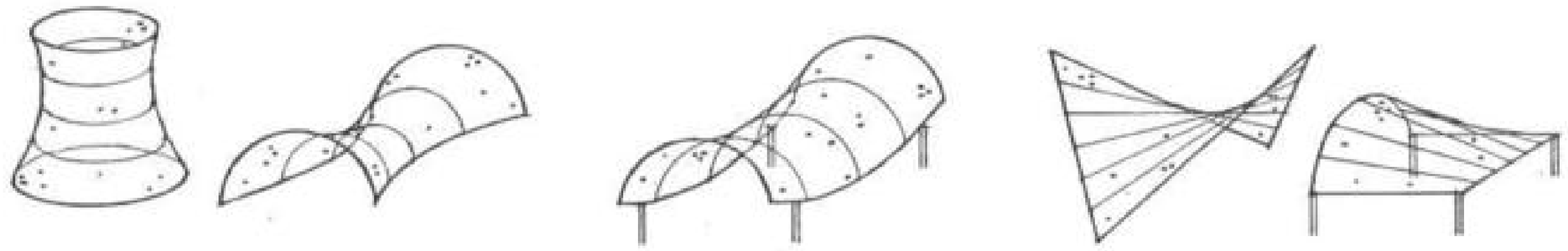
## 4.3 Estructuras de membrana / *Sistemas de casca*

Membranas de curvatura simple
*Cascas de curvas simples*

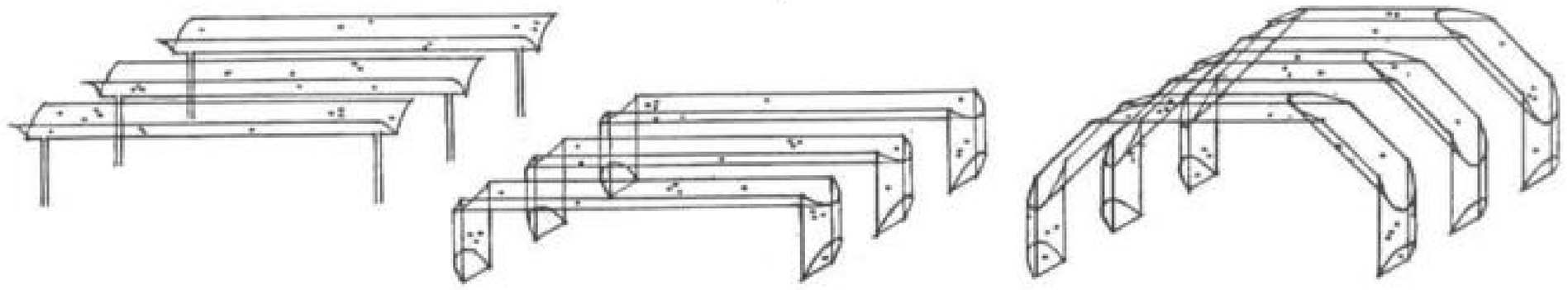


Membranas en cúpula
*Cascas em cúpula*

Membranas en silla de montar
*Cascas em sela*

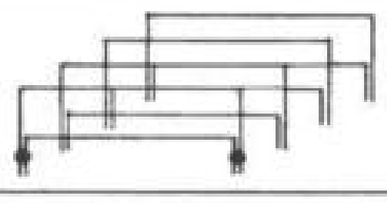
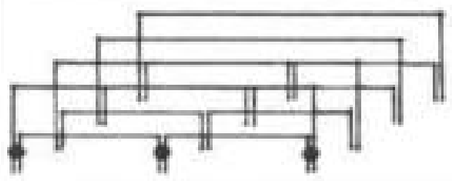
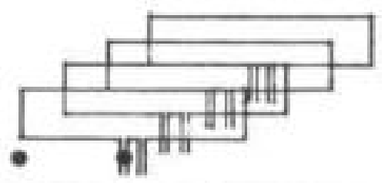
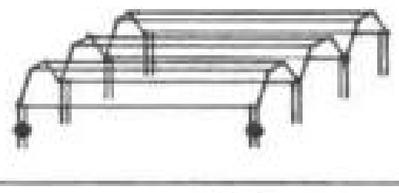
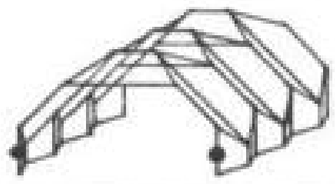
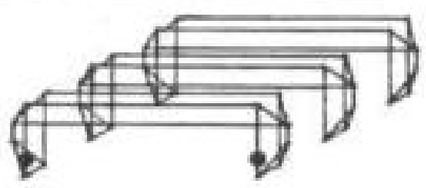
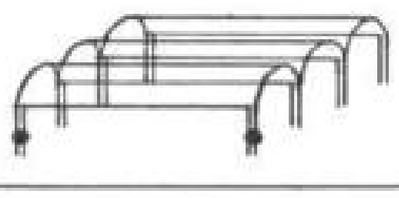
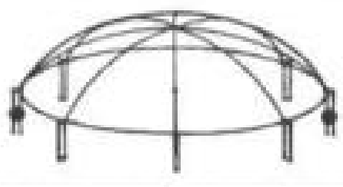
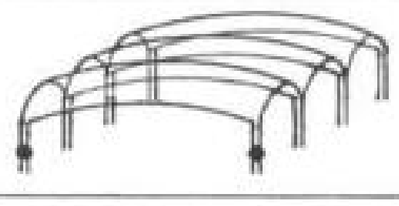
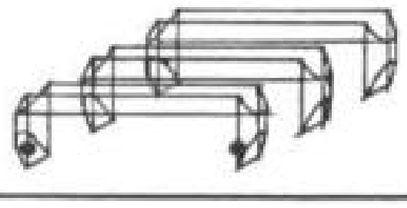


Membranas lineales
*Cascas lineares*



Aplicaciones: sistema estructural - material - luces

Aplicações: sistema estrutural - material - vão

| Sistema estructural / Sistema estrutural | | Material básico | Matéria prima | Luces en metros / Vãos em metros |
|---|---|---|---|---|
| Estructuras de LÁMINAS 4.1 Sistemas de PLACA |  | hormigón armado madera | concreto armado madeira | 8 10 40 50 / 6 10 50 60 |
| |  | hormigón armado madera | concreto armado madeira | 10 15 40 60 / 8 10 40 50 |
| |  | hormigón armado madera | concreto armado madeira | 5 8 20 25 / 5 15 20 |
| Estructuras de LÁMINAS PLEGADAS 4.2 Sistemas de PLACAS DOBRADAS |  | hormigón armado madera | concreto armado madeira | 10 15 50 60 / 8 10 40 50 |
| |  | hormigón armado madera | concreto armado madeira | 20 25 150 200 / 15 20 120 150 |
| | | hormigón armado madera | concreto armado madeira | 20 25 80 100 / 15 20 60 80 |
| |  | hormigón armado madera | concreto armado madeira | 10 20 70 90 / 10 15 60 70 |
| Estructuras de MEMBRANAS 4.3 Sistemas de CASCA |  | hormigón armado | concreto armado | 10 20 60 75 |
| |  | hormigón armado | concreto armado | 20 40 150 200 |
| |  | hormigón armado | concreto armado | 15 25 70 90 |
| | | hormigón armado madera | concreto armado madeira | 15 25 60 70 / 15 20 50 60 |
| |  | hormigón armado | concreto armado | 20 25 80 100 |

A cada tipo de estructura le corresponde un estado de tensiones específico en cada uno de sus componentes. De aquí se desprenden unas condiciones vinculantes en la elección del material básico de construcción y en las luces que pueden alcanzarse.

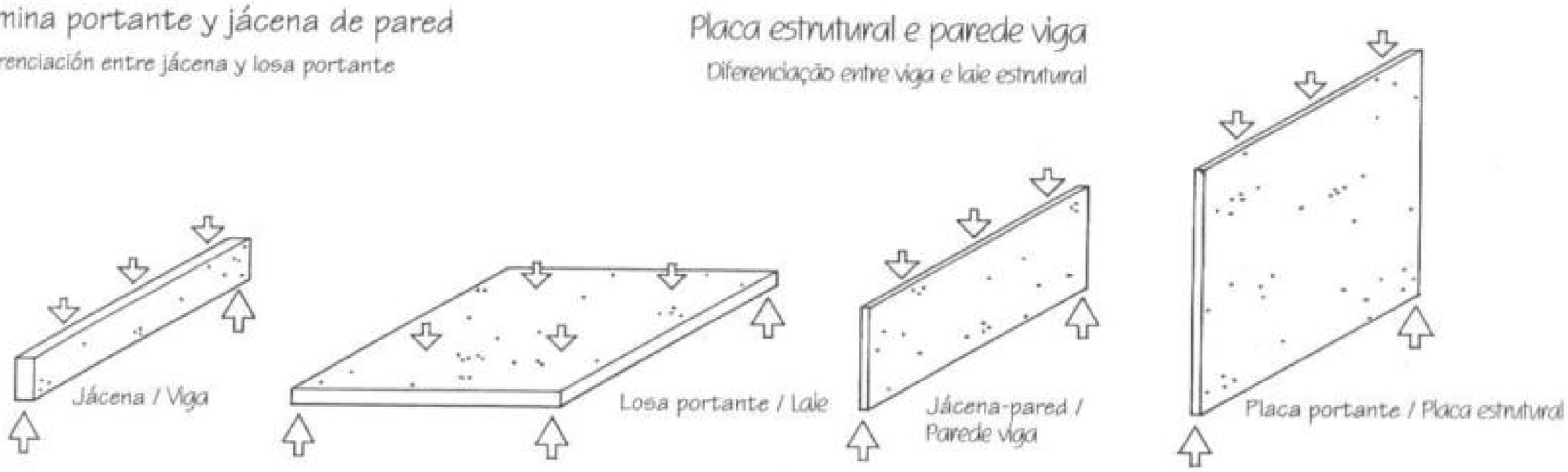
Para cada tipo de estrutura há uma condição inerente específica de esforço de seus componentes. Esta característica essencial submete o desenho das estruturas à associações racionais na escolha de um tecido estrutural principal e na atribuição da capacidade de vão.

## Lámina portante y jácena de pared

Diferenciación entre jácena y losa portante

## Placa estrutural e parede viga

Diferenciação entre viga e laie estrutural




Las láminas son elementos estructurales planos que, a diferencia de las losas portantes, están solicitadas por cargas PARALELAS a la superficie de la jácena.

Por su mecánica portante pueden compararse a las jácenas, aunque la distribución de tensiones de la lámina difiere de la de la jácena cuando aumenta la altura de la estructura (¡sólo a partir de aprox. 1/2 de la luz!).

Las jácenas pared –también llamadas "placas murales" debido a su forma– cuya altura sea inferior a la mitad de la luz se comportan como una jácena. En sentido estático no pueden considerarse como láminas.

Placas estruturais são vigas planas as quais, ao contrário da laie, são tensionadas por cargas PARALELAS à superfície da viga.

Em seu mecanismo portante elas podem ser comparadas com a viga, mas sua distribuição de esforços e aumento da altura estrutural (pensando em só 1/2 do vão a mais!) diferenciam esta da viga.

Paredes viga –também referidas como "placas" estruturais devido à sua forma–, com alturas medindo menos que a metade de seu vão, comportam-se como uma viga. Elas não são placas estruturais no sentido estrutural.

## Transición de la jácena a la lámina portante
## Transição entre viga e placa estrutural

La distribución de tensiones en una lámina difiere de la viga en los siguientes puntos:

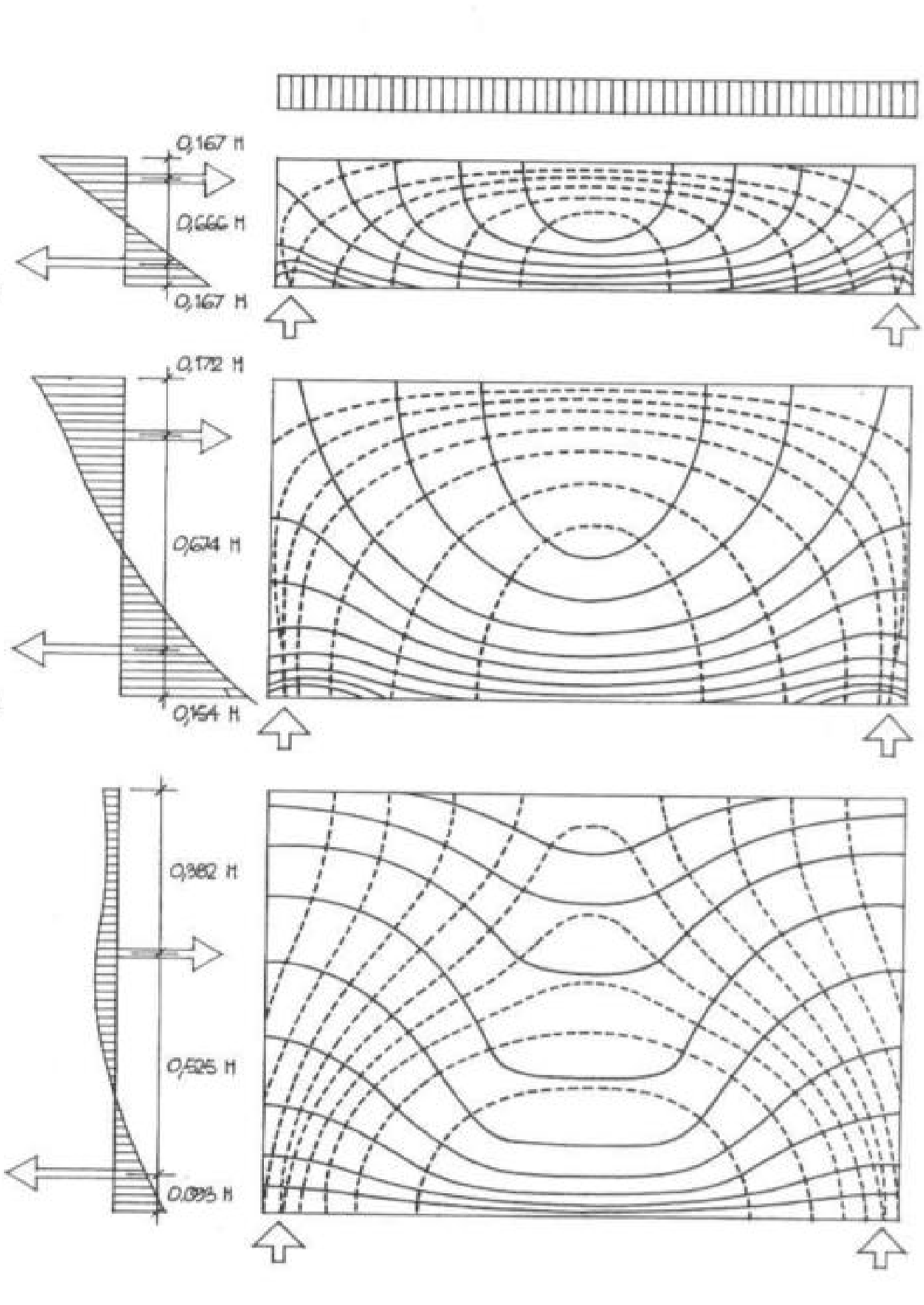
1 La distribución de tensiones normales deja de ser lineal
2 La parte superior de la lámina deja de contribuir a soportar la compresión
3 El eje neutro se desplaza bastante hacia abajo, incluso por debajo de los apoyos
4 La resultante de los esfuerzos de tracción se sitúa bastante abajo en comparación con la zona comprimida

El diagrama reticular de las líneas isostáticas, también llamadas trayectorias (líneas de igual tensión principal, compresión y tracción) muestra, además de la "bóveda de compresiones" de la jácena, un "flujo" directo de las cargas hacia los apoyos.

A distribuição de esforços da placa estrutural difere em relação a viga em aspectos essenciais:

1 A distribuição dos esforços normais já não se desenvolve ao longo de uma linha reta
2 A seção superior da placa é deficiente no suporte da compressão
3 O eixo neutro move-se para baixo e ainda desce abaixo dos apoios
4 A resultante das forças de tensão em relação à zona de compressão situa-se ainda mais abaixo

O diagrama das linhas isostáticas (malha), também chamadas trajetórias (linhas de esforços iguais, compressão e tensão), além da "abóbada de compressão" das vigas, mostra o "fluxo" direto das cargas em direção aos apoios.

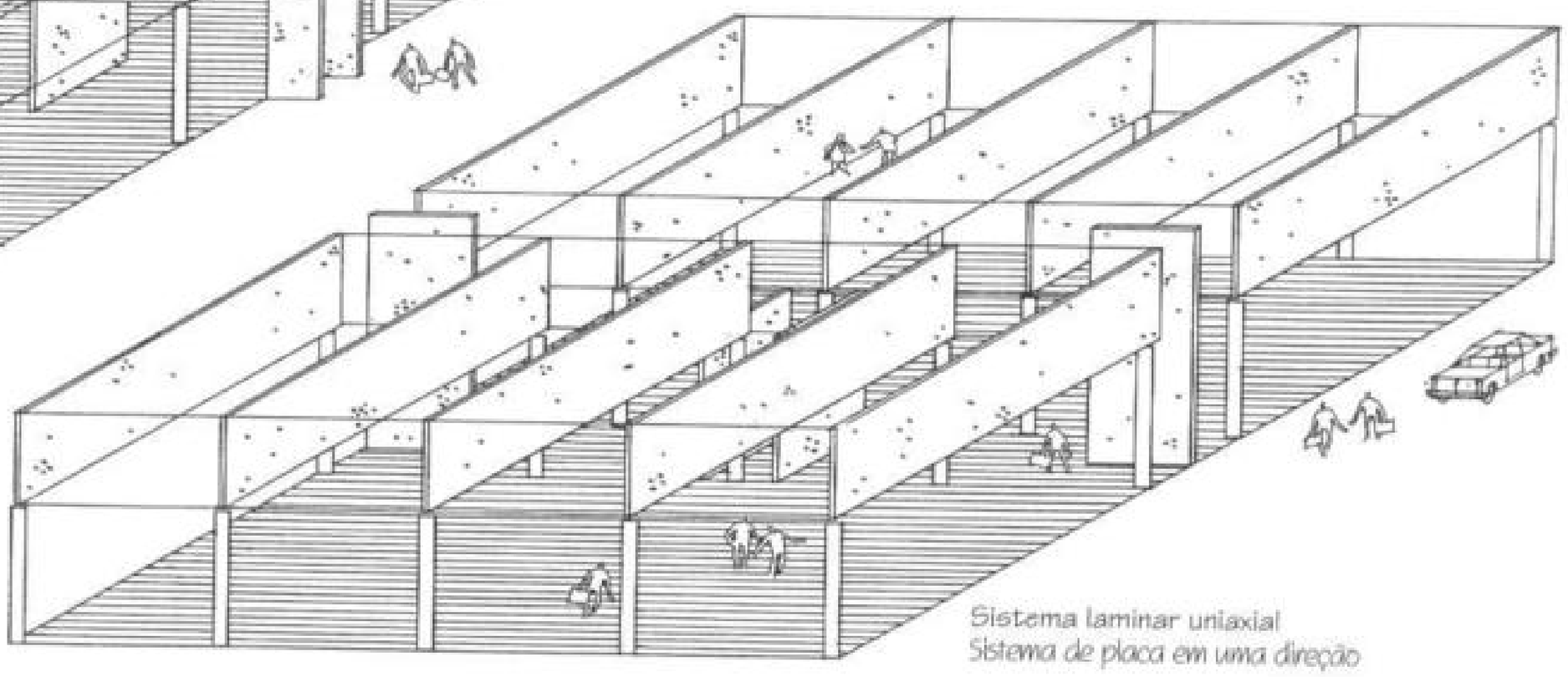



Trayectorias de compresión
Trajetórias de compressão

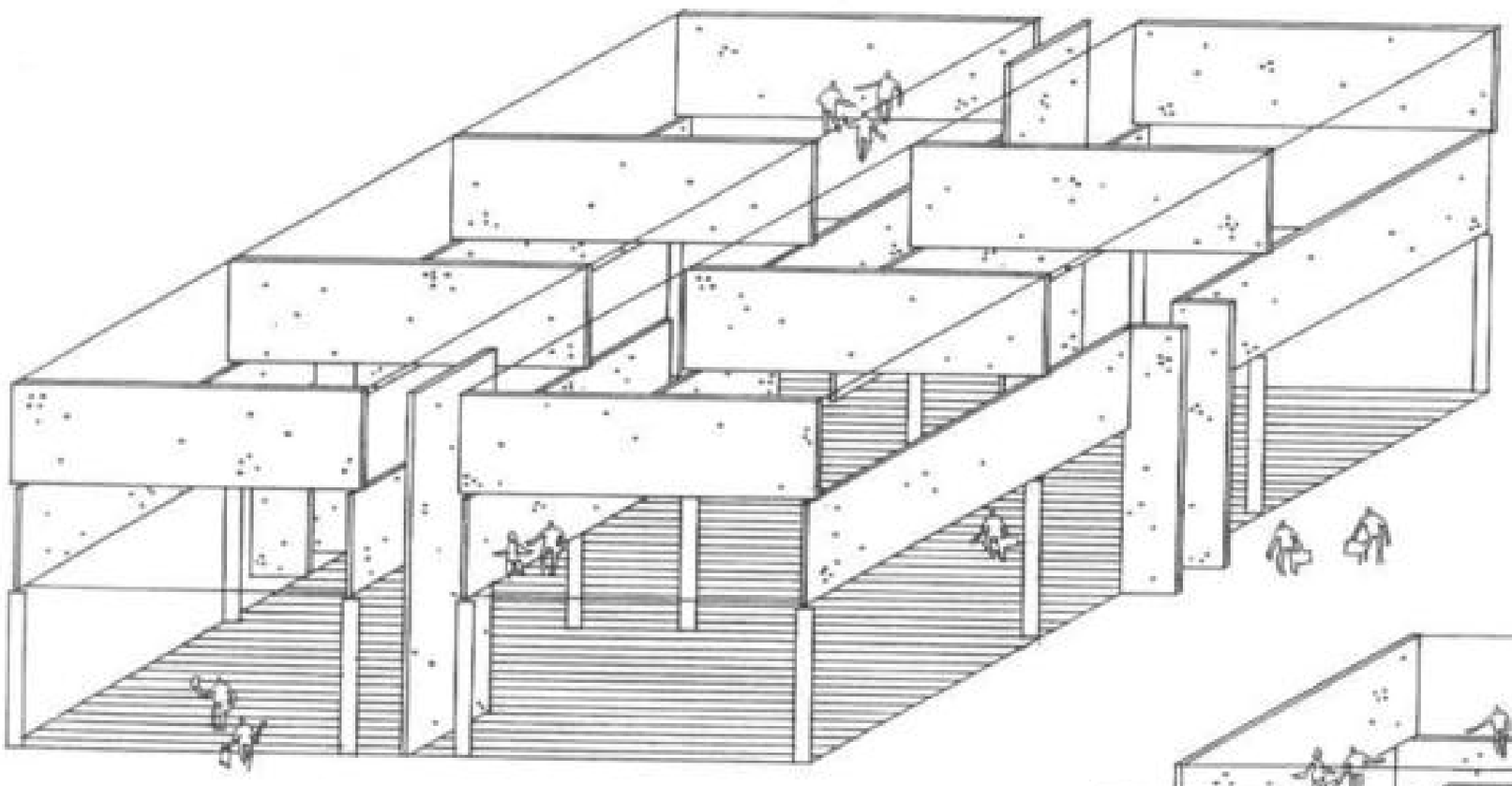
Trayectorias de tracción
Trajetórias de tensão

Lámina de un vano con un hueco central
Placa de vão único com abertura central

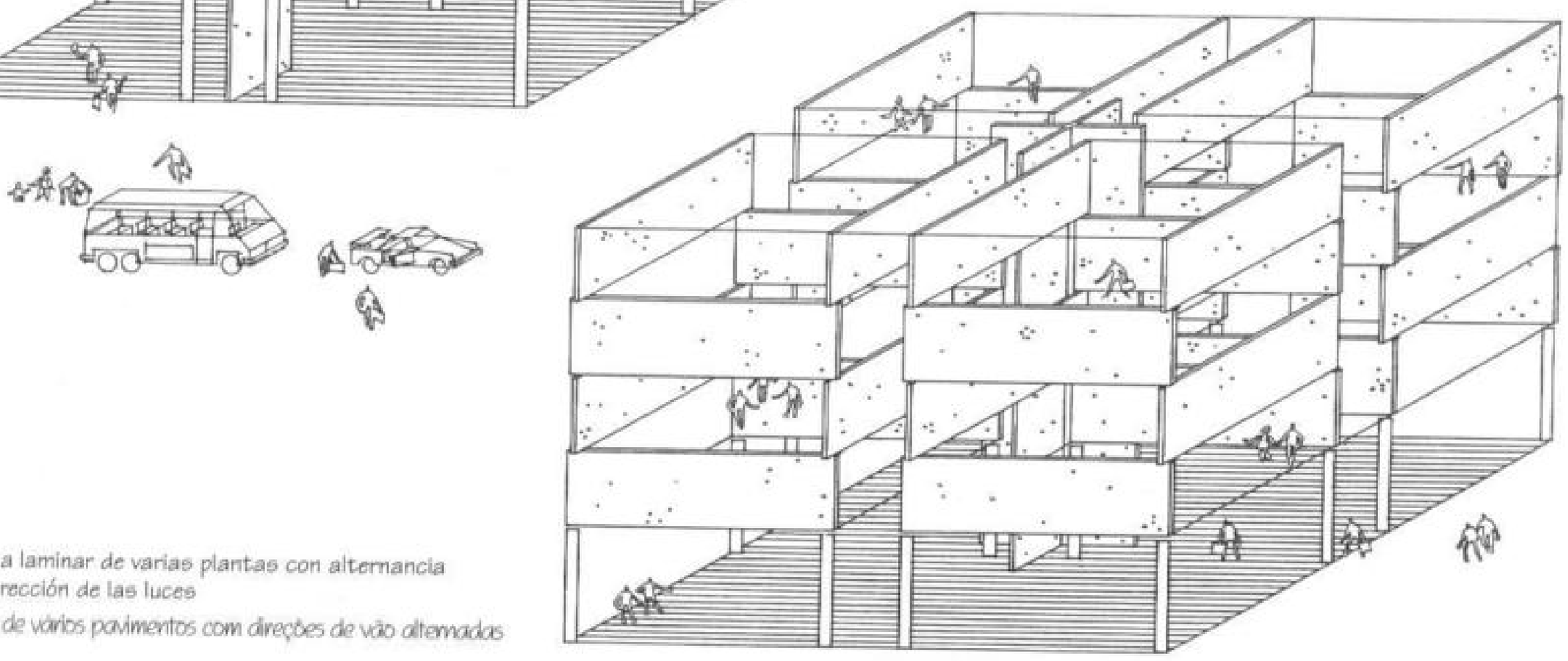
Sistemas de jácenas-pared con "láminas" de estabilización
Sistemas de parede viga com estabilização de parede cisalhada



Sistema laminar uniaxial
Sistema de placa em uma direção

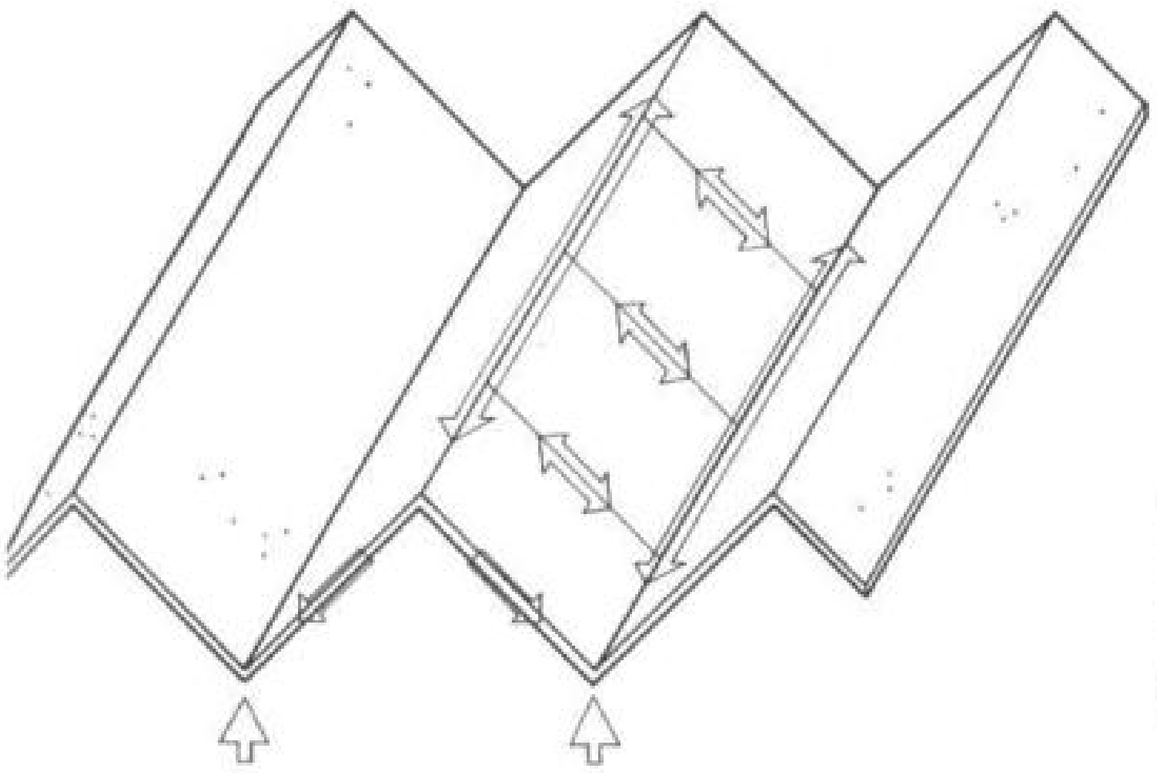


Sistema laminar biaxial
Sistema de placa biaxial



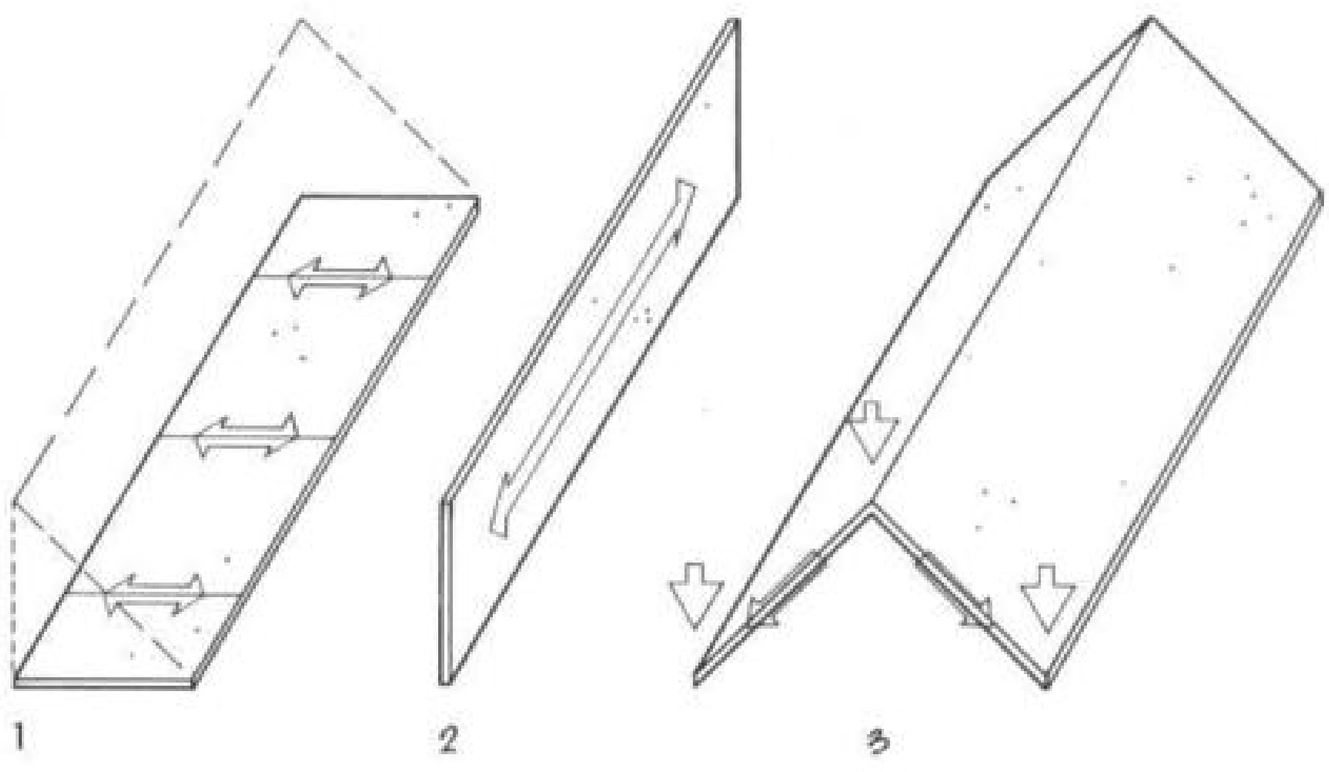
Sistema laminar de varias plantas con alternancia en la dirección de las luces
Sistema de vários pavimentos com direções de vão alternadas

## Acción portante triple de la lámina simplemente plegada



Transmisión simple de las cargas en una lámina simplemente plegada
Fluxo simplificado de esforços em placa simplesmente dobrada

## Ação portante tripla de placa simplesmente dobrada

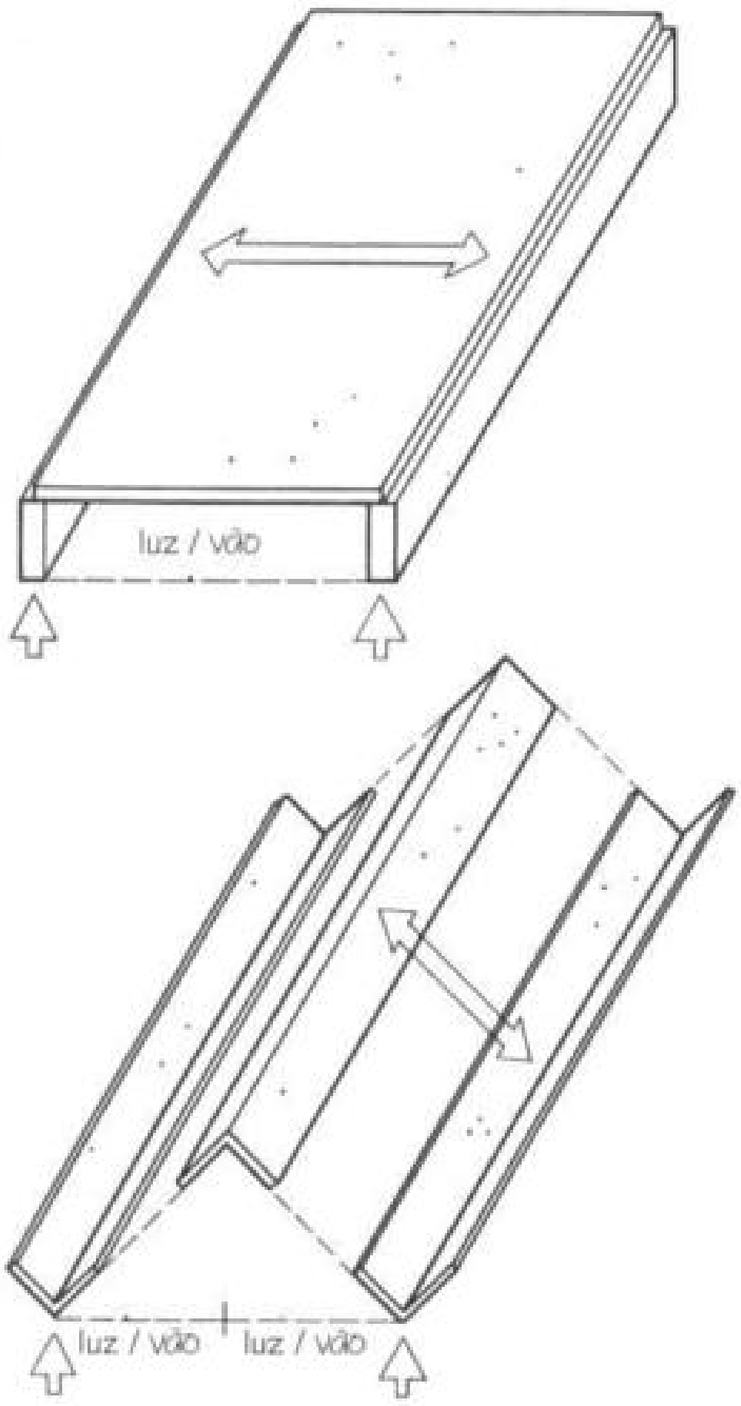



Acción de losa
Efeito de laje

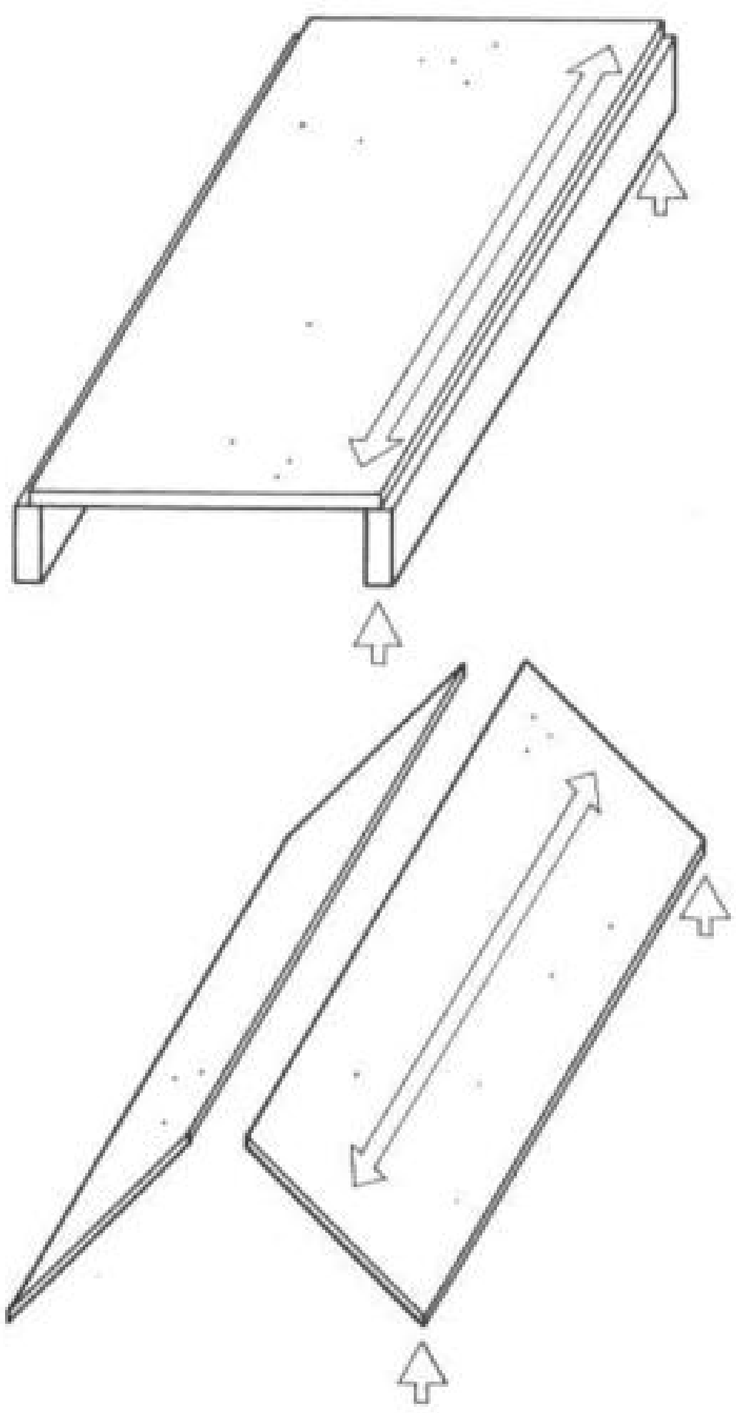
Acción de lámina
Efeito de placa

Acción de cercha (pórtico)
Efeito de treliça (pórtico)

## Ventajas de la lámina simplemente plegada respecto a una losa nervada

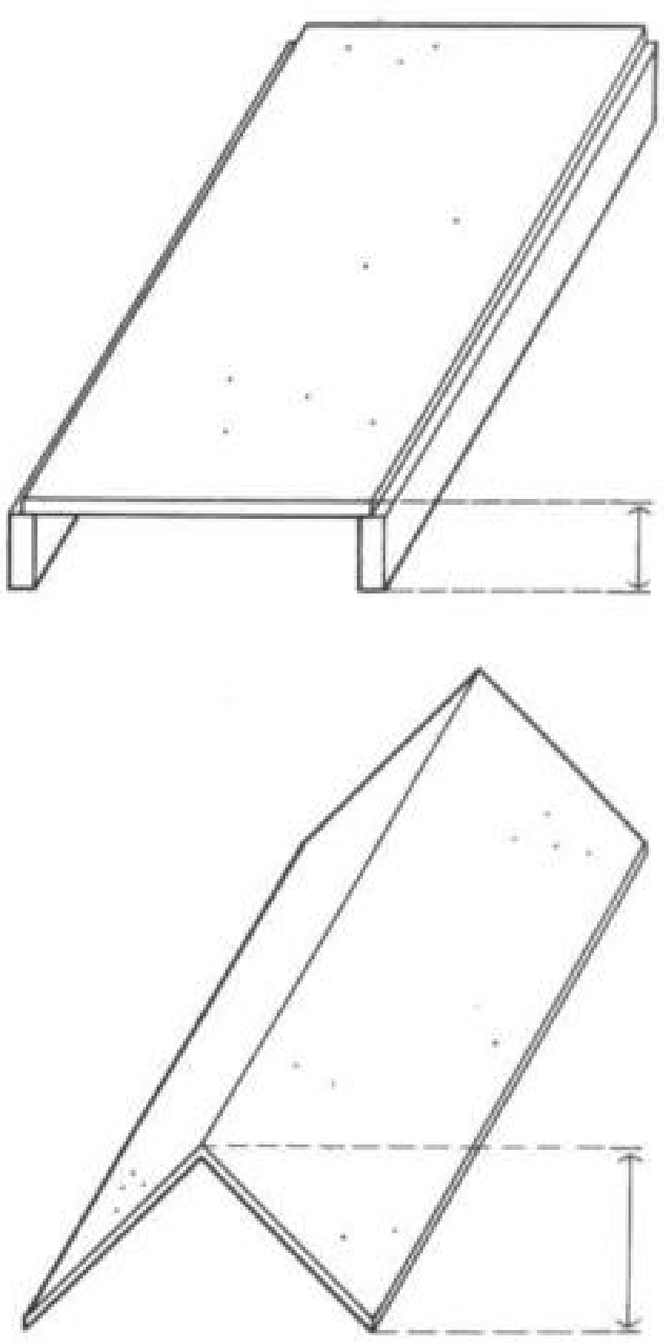



Reducción de la luz de la lámina gracias a que cada pliegue se comporta como un apoyo
Redução do vão da laje, em sua metade aproximadamente, porque cada dobra atua como apoio rígido



Eliminación de nervios, ya que cada superficie también actúa en sentido longitudinal como viga
Eliminação de nervuras, porque cada plano atua como viga em direção longitudinal

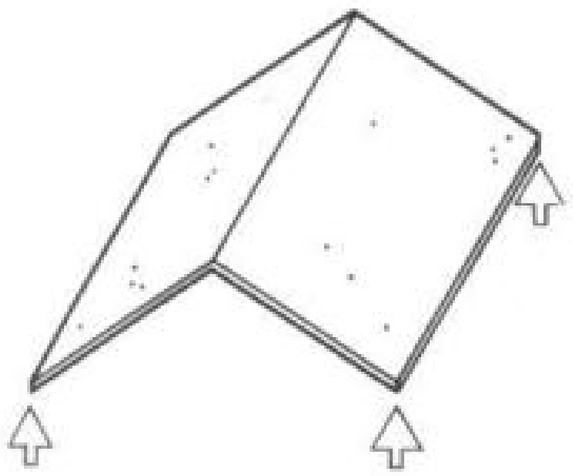
## Vantagens da estrutura simplesmente dobrada sobre a estrutura de laje nervurada



Aumento de la capacidad portante debido al incremento del canto
Aumento da capacidade de abarcar o vão através do aumento da altura da construção

## Influencia del pliegue en la distribución de tensiones y en la capacidad portante

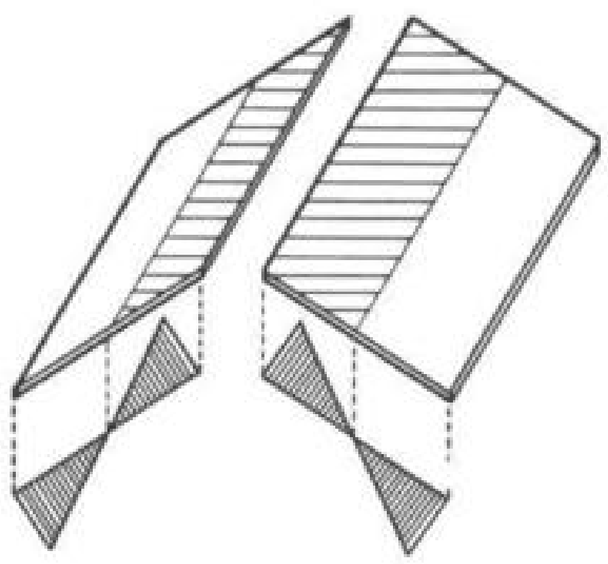
## Influência da dobra na distribuição dos esforços e na capacidade de cobertura

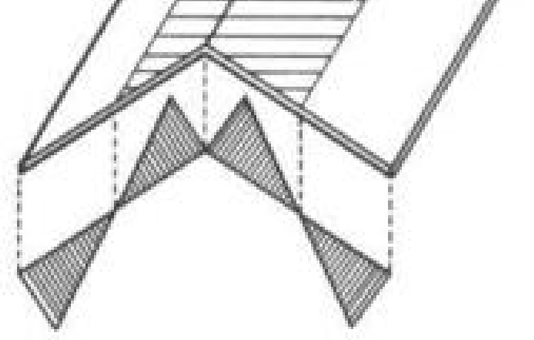


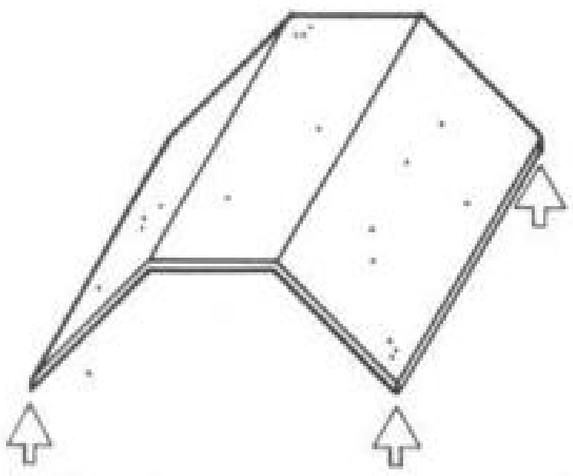
sistema con 1 pliegue
sistema com uma dobra

Las tensiones normales en el canto común tienen la misma orientación, por lo que la distribución de tensiones no varía

Os esforços de borda na dobra têm a mesma orientação. Assim, a distribuição de esforços permanece inalterada



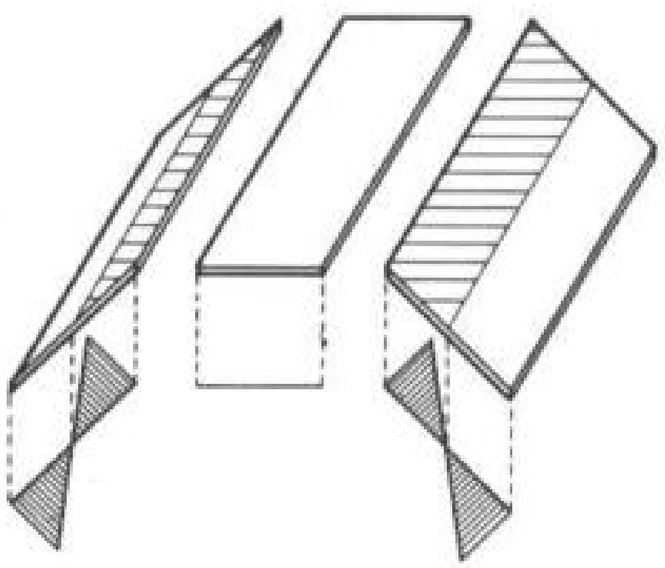


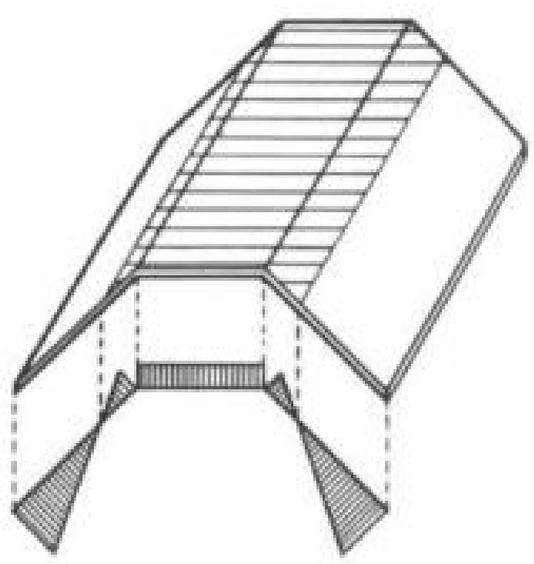


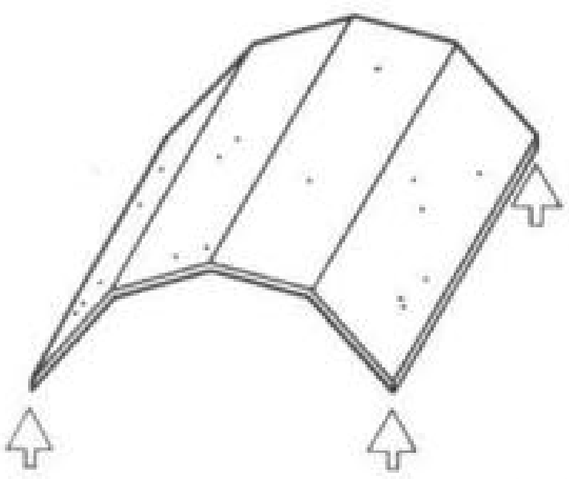
sistema con 2 pliegues
sistema com duas dobras

La lámina horizontal no tensionada está sometida a esfuerzos cortantes. Con ello se disminuyen las tensiones en el borde

A placa horizontal sem esforços próprios está submetida a esforços cortantes. Os esforços de borda, por conseqüência, podem ser reduzidos



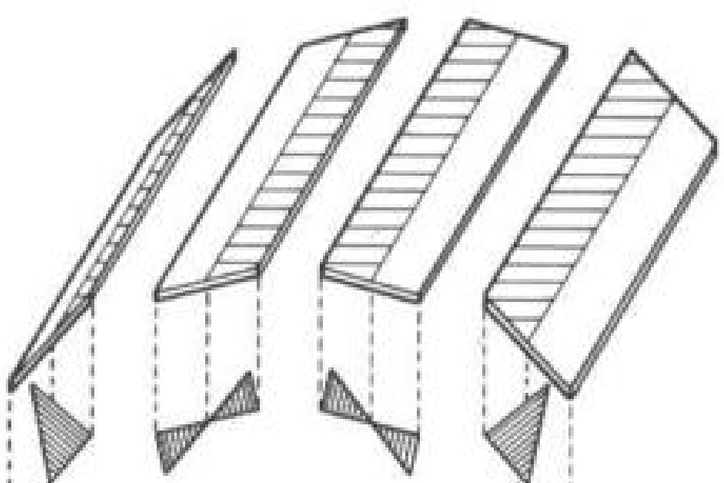


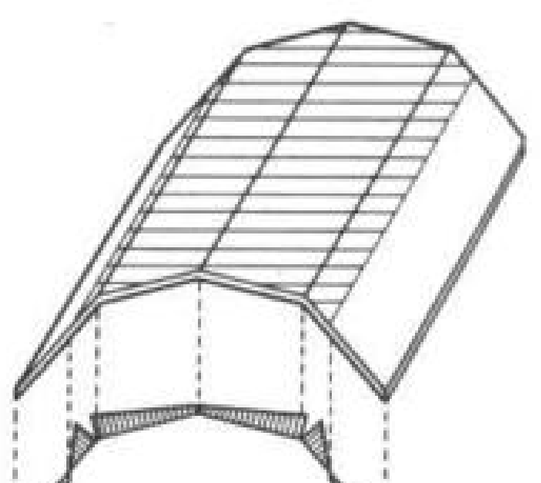


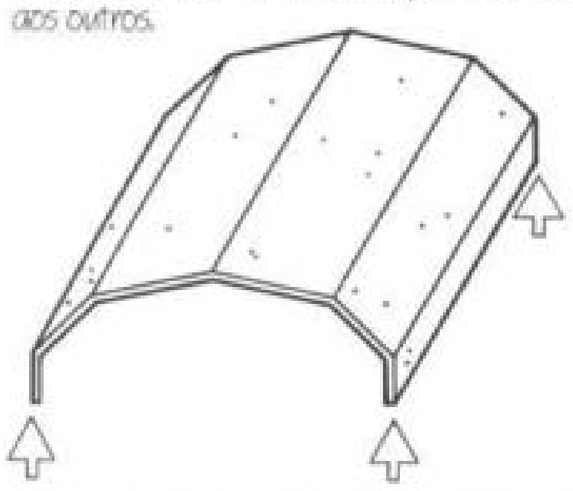
sistema con 3 pliegues
sistema com três dobras

Las tensiones normales en el borde lateral son de sentido opuesto y se contrarrestan en gran parte mediante esfuerzos cortantes

Os esforços de borda na dobra lateral têm tendências opostas. Através de cisalhamento compensam-se em grande medida uns aos outros.



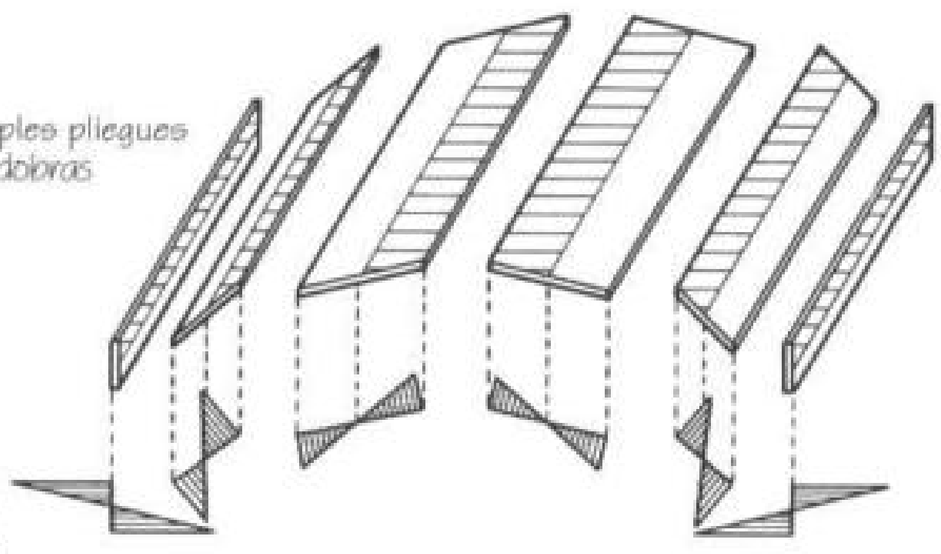


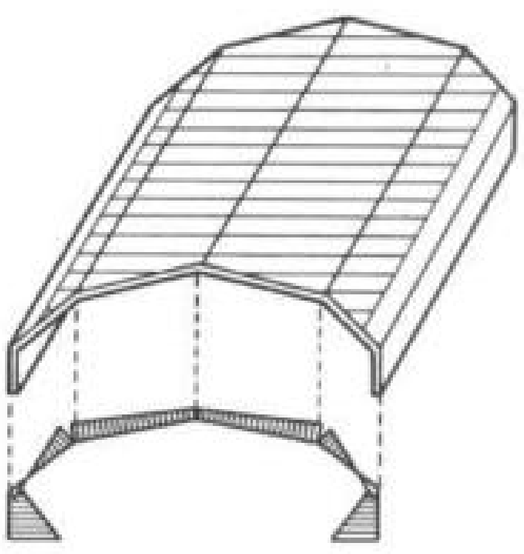


sistema con múltiples pliegues
sistema com várias dobras

Las tensiones normales aún se reparten más. Forma y comportamiento estructural se aproximan a una membrana cilíndrica

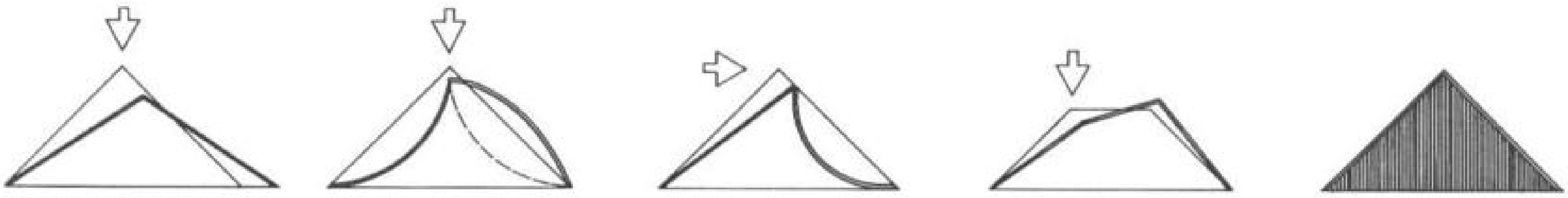
Os esforços são ainda mais distribuídos. A forma e o funcionamento assemelham-se aos de uma casca cilíndrica





Rigidización frente a una deformación crítica del perfil plegado; formas típicas de rigidizadores transversales

Enrijecimento contra deformações críticas de perfil dobrado; formas típicas de enrijecedores



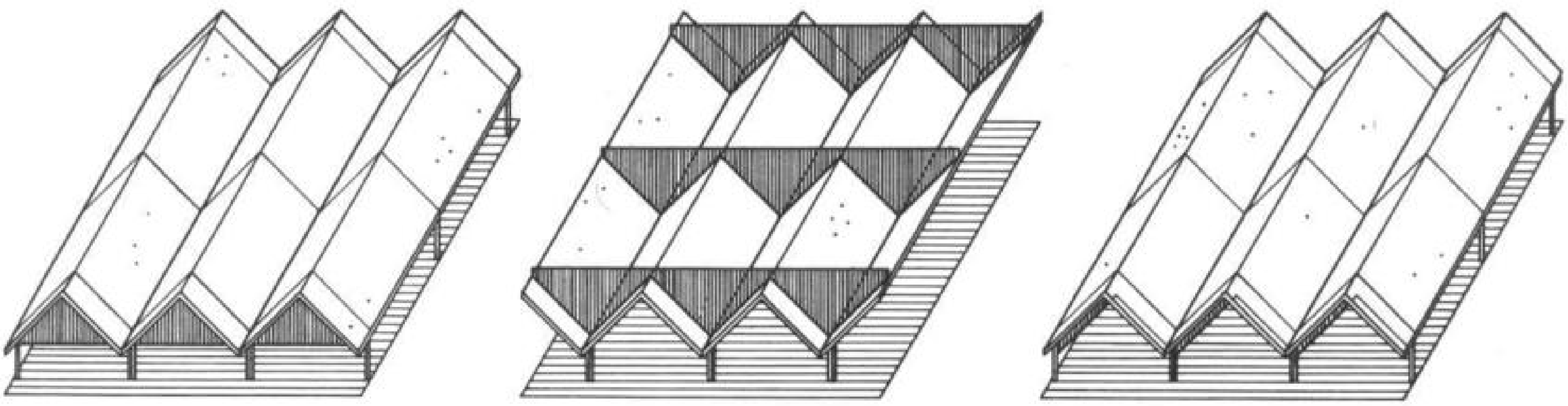
desplazamiento de los bordes inferiores
deslocamento de bordas inferiores

abolladura de ambas láminas
abaulamento de ambas as placas

abolladura de una lámina
abaulamento de uma placa

modificación del ángulo de pliegue
mudança do ângulo de dobra

rigidización transversal
enrijecimento transversal



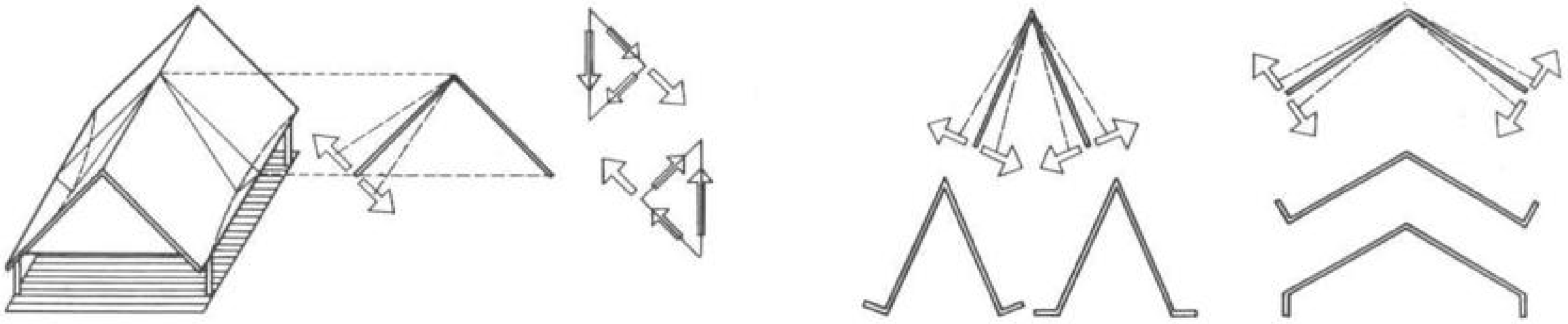
Láminas transversales inferiores
Lâminas transversais inferiores

Láminas transversales superiores
Lâminas transversais superiores

Pórticos transversales inferiores
Pórticos transversais inferiores

Rigidización frente a una deformación crítica del borde exterior / formas típicas de rigidizadores de borde

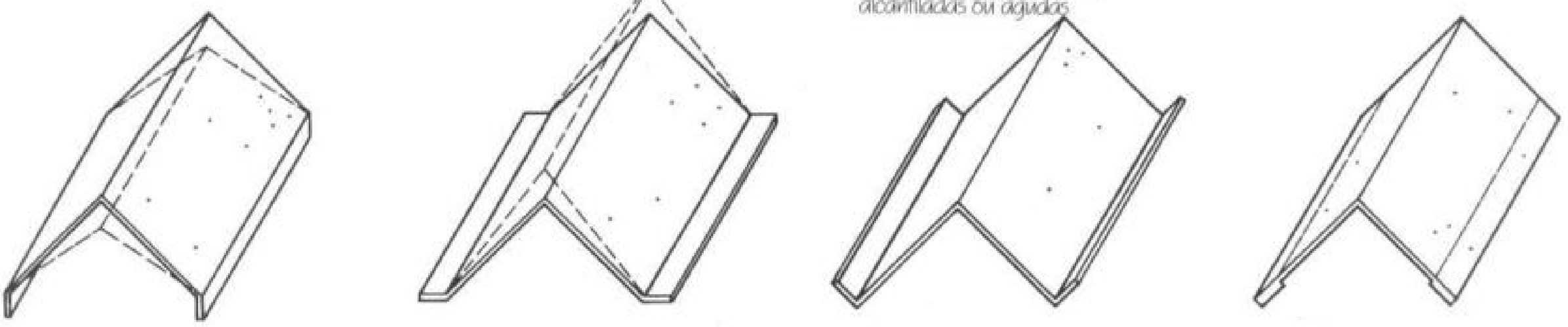
Enrijecimento contra as deformações críticas da borda livre / formas típicas de vigas de borda



deformación debido a la aparición de esfuerzos perpendiculares al plano
deformação devido aos esforços normais ao plano

Viga rigidizadora de borde para pliegues agudos
Viga de borda para dobras alcantiladas ou agudas

para pliegues planos
para dobras achatadas



Viga rigidizadora vertical:
para pliegues chatos
Viga vertical para dobras achatadas

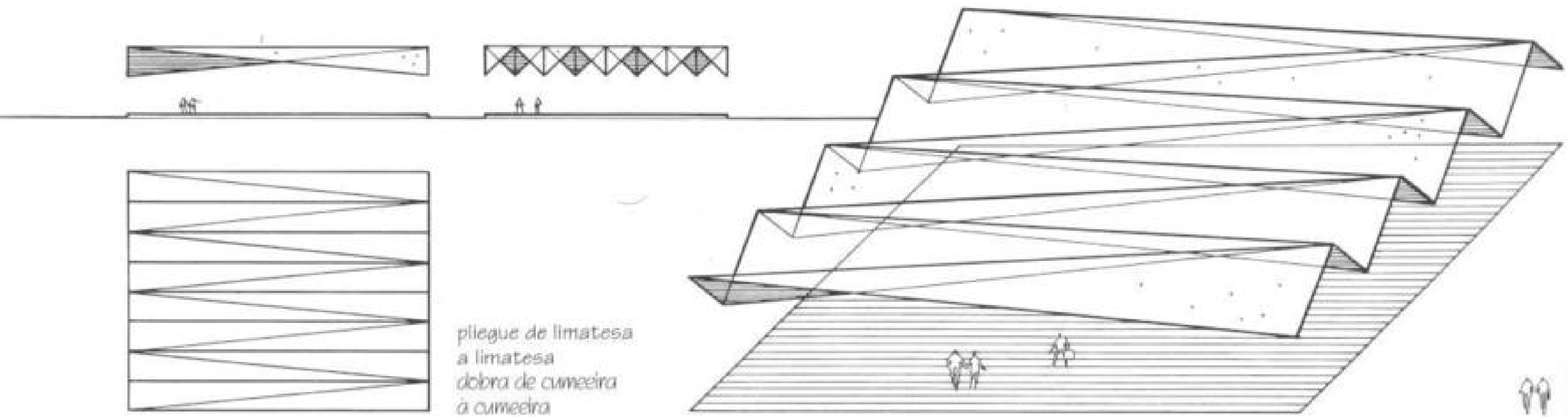
Viga rigidizadora horizontal:
para pliegues agudos
Viga horizontal para dobras agudas

Viga perpendicular al plano:
lo más eficaz
Viga normal ao plano: mais eficiente

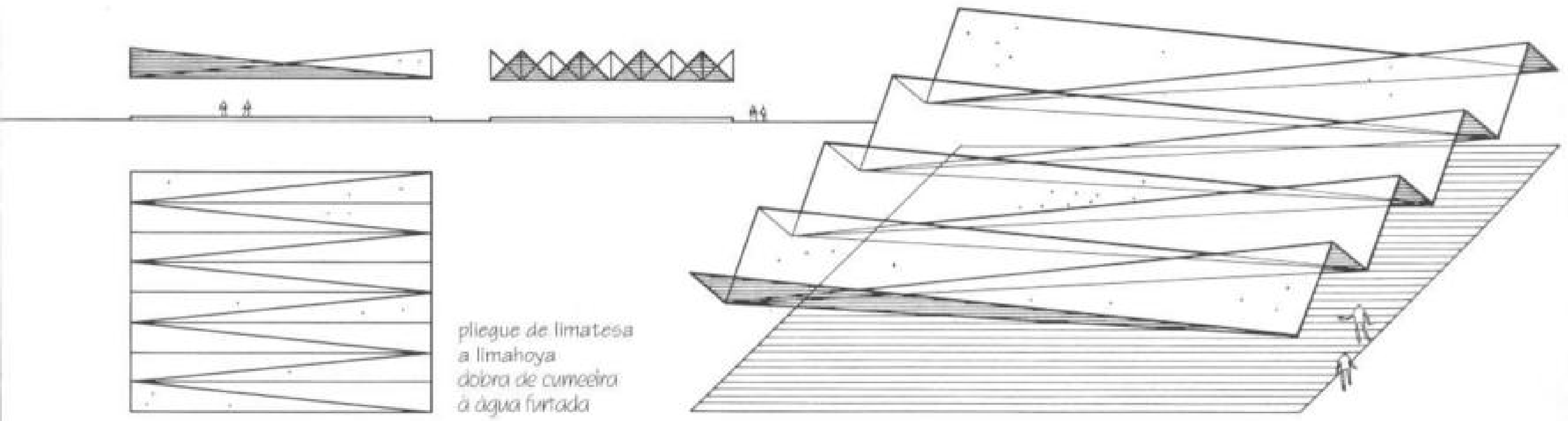
Viga rigidizadora de borde
en el plano de las láminas
Viga de borda integrada na placa

## Superficies con pliegues opuestos
*Perfiles plegados de igual profundidad y altura sobre el suelo*

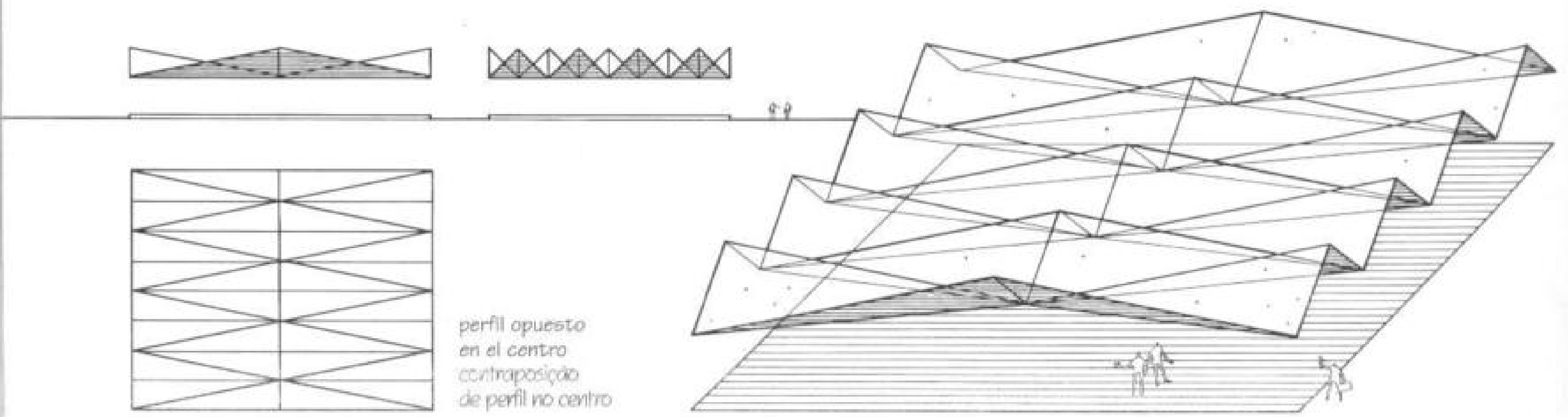
## Superfícies com dobras contrapostas
*Perfis dobrados de mesma profundidade e mesma elevação da base*



*pliegue de limatesa*
a limatesa
*dobra de cumeeira*
*à cumeeira*



*pliegue de limatesa*
a limahoya
*dobra de cumeeira*
*à água furtada*



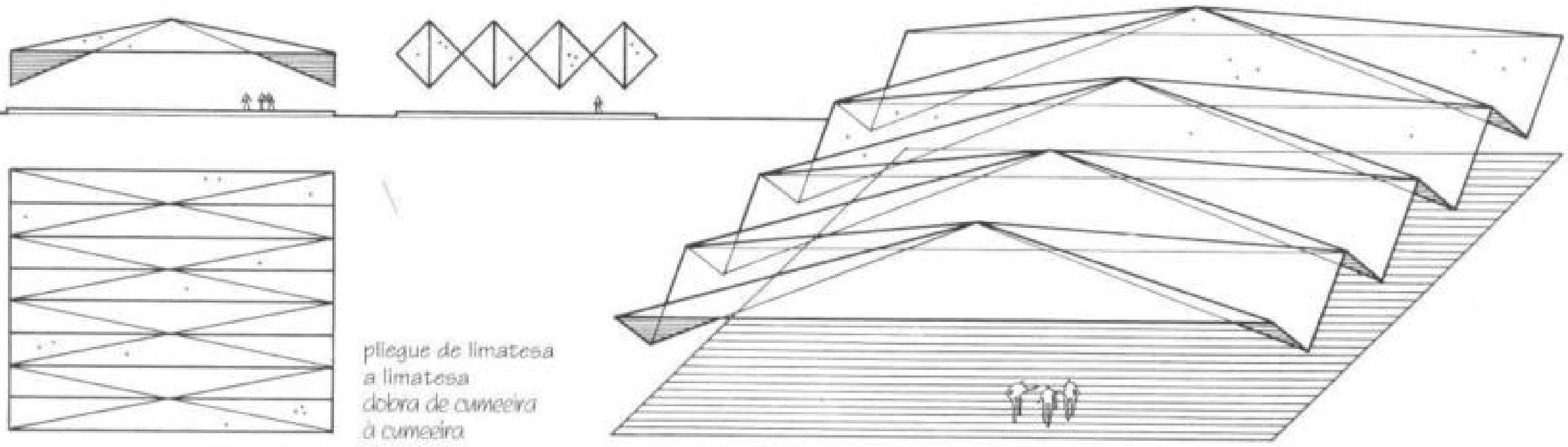
*perfil opuesto*
*en el centro*
*contraposição*
*de perfil no centro*

## Superficies con pliegues opuestos

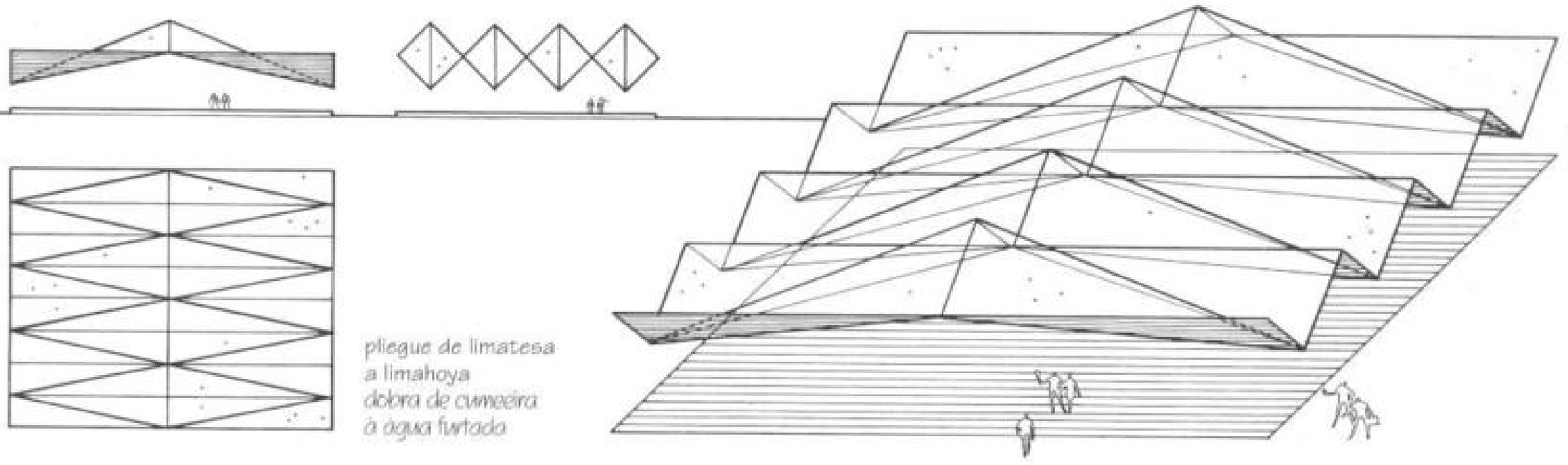
Perfiles plegados de igual profundidad; perfil central elevado sobre el perfil extremo

## Superfícies com dobras contrapostas

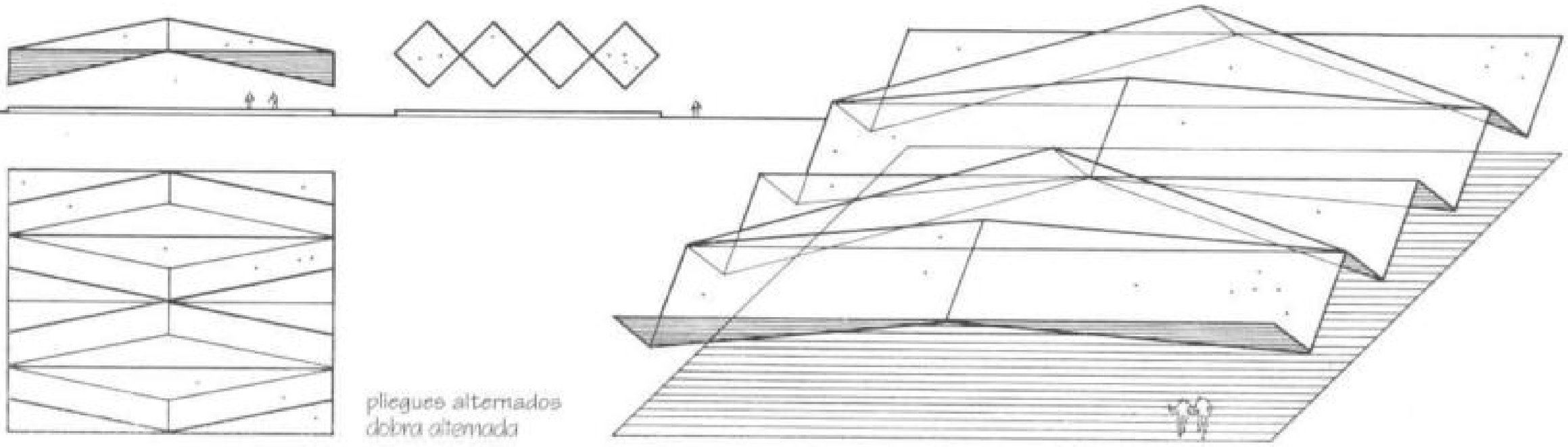
Profundidade de perfis idêntica, dobra central elevada sobre a dobra de borda



pliegue de limatesa
a limatesa
*dobra de cumeeira*
*à cumeeira*



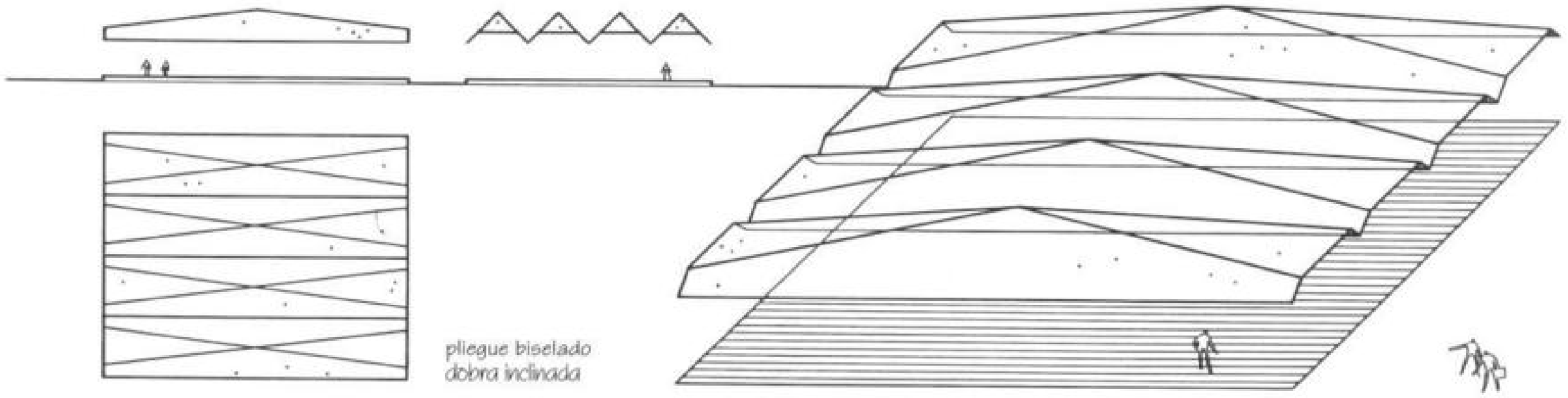
pliegue de limatesa
a limahoya
*dobra de cumeeira*
*à água furtada*



pliegues alternados
*dobra alternada*

## Superficies con pliegues cónicos
*perfil plegado continuo con el canto superior biselado*

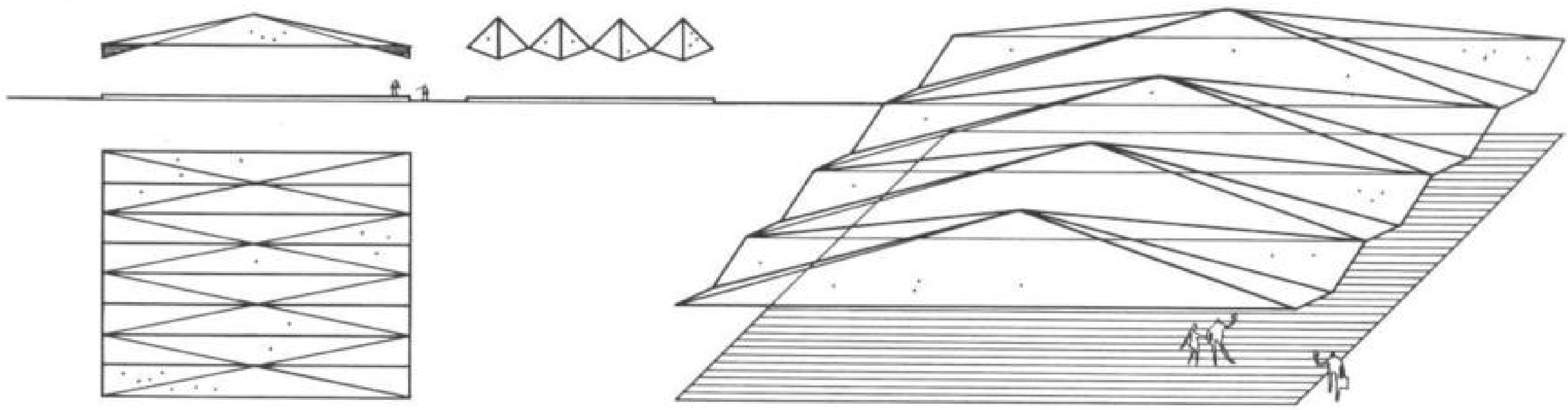
## Superfícies com dobras cônicas
*perfil de dobra contínua com borda superior incisiva e inclinada*

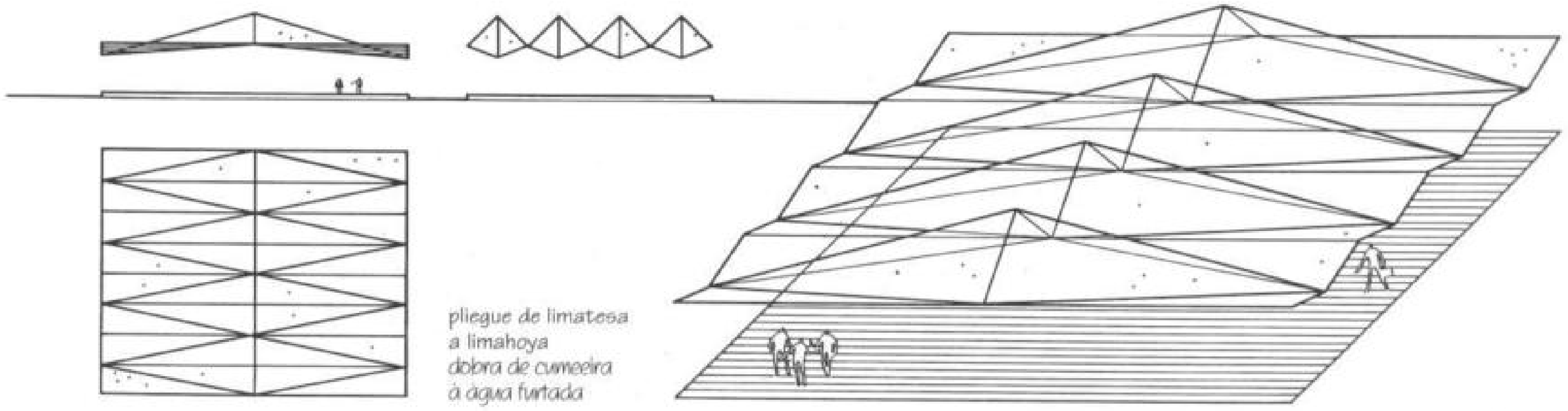


pliegue biselado
*dobra inclinada*

## Superficies con pliegues opuestos
*perfil central elevado y de mayor profundidad que los perfiles de borde*

## Superfícies com dobras contrapostas
*perfil central elevado com profundidade de perfil maior do que a do perfil de borda*

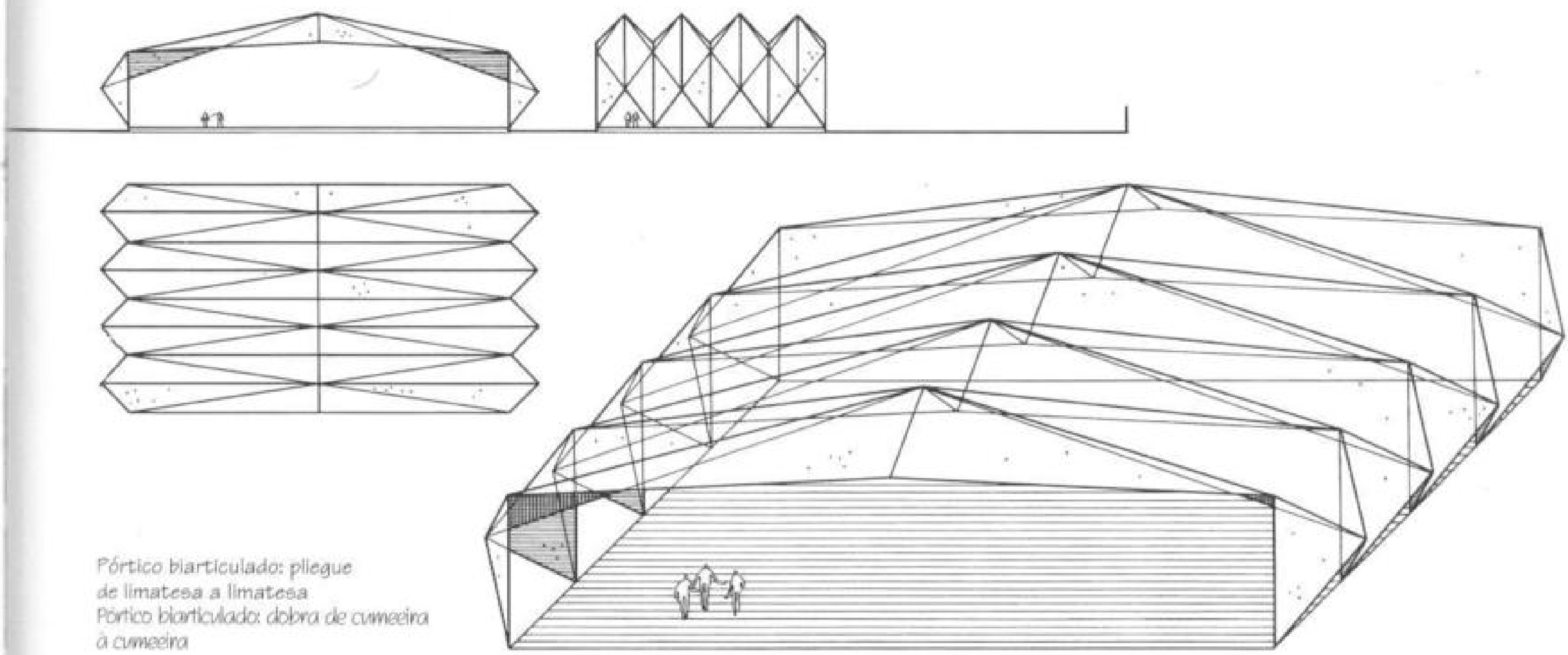




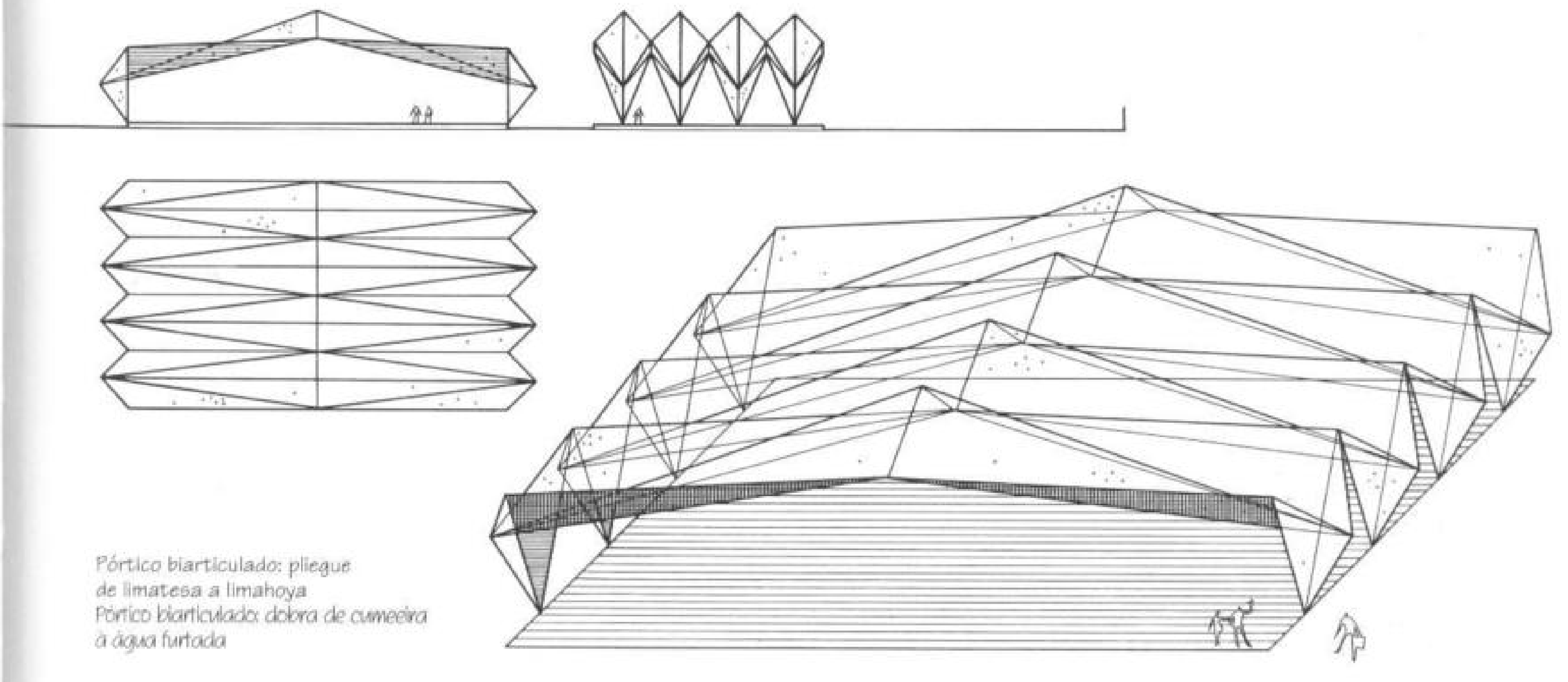
pliegue de limatesa
a limahoya
*dobra de cumeeira*
*à água furtada*

## Sistemas estructurales lineales formados por superficies plegadas

## Sistemas de estrutura linear compostos de superficies dobradas



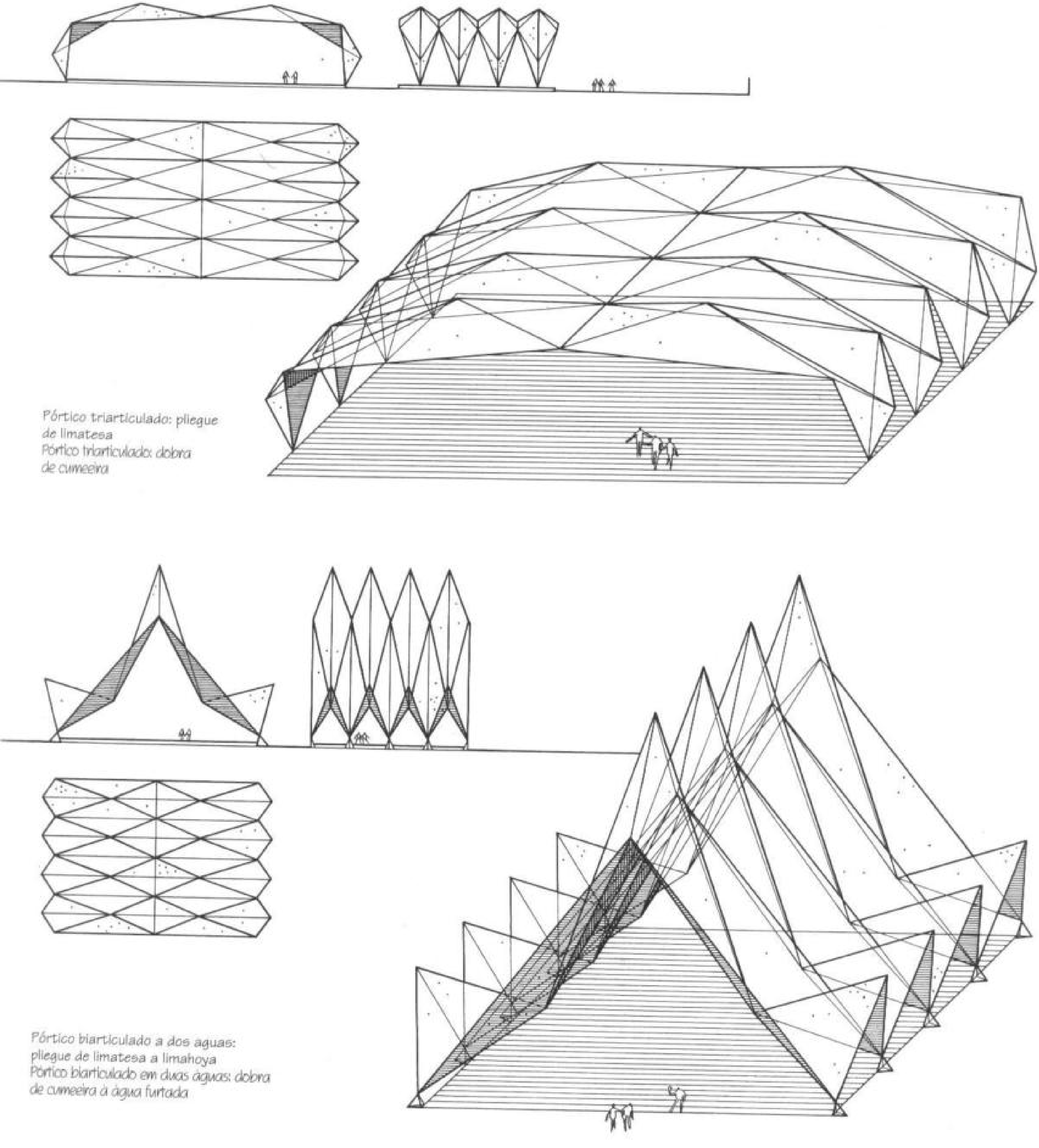
Pórtico biarticulado: pliegue de limatesa a limatesa
Pórtico biarticulado: dobra de cumeeira à cumeeira



Pórtico biarticulado: pliegue de limatesa a limahoya
Pórtico biarticulado: dobra de cumeeira à água furtada

## Sistemas estructurales lineales formados por superficies plegadas

## Sistemas de estrutura linear compostos de superfícies dobradas



Pórtico triarticulado: pliegue de limatesa
Pórtico triarticulado: dobra de cumeeira



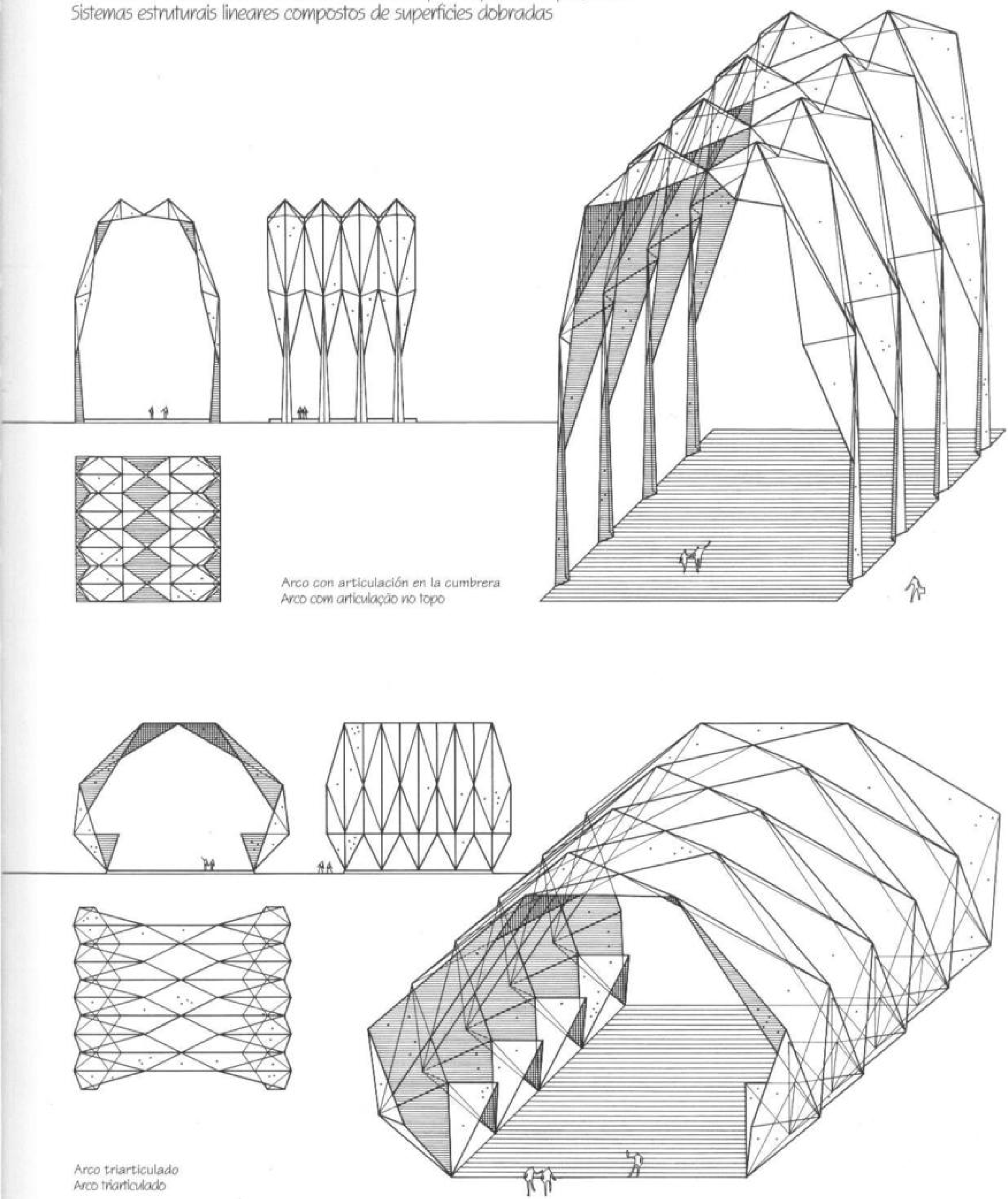
Pórtico biarticulado a dos aguas: pliegue de limatesa a limahoya
Pórtico biarticulado em duas águas: dobra de cumeeira à água furtada

# Superficie activa

Sistemas de estructuras de

# 4

## Sistemas estructurales lineales formados por superficies plegadas
## Sistemas estruturais lineares compostos de superficies dobradas



Arco con articulación en la cumbrera
Arco com articulação no topo

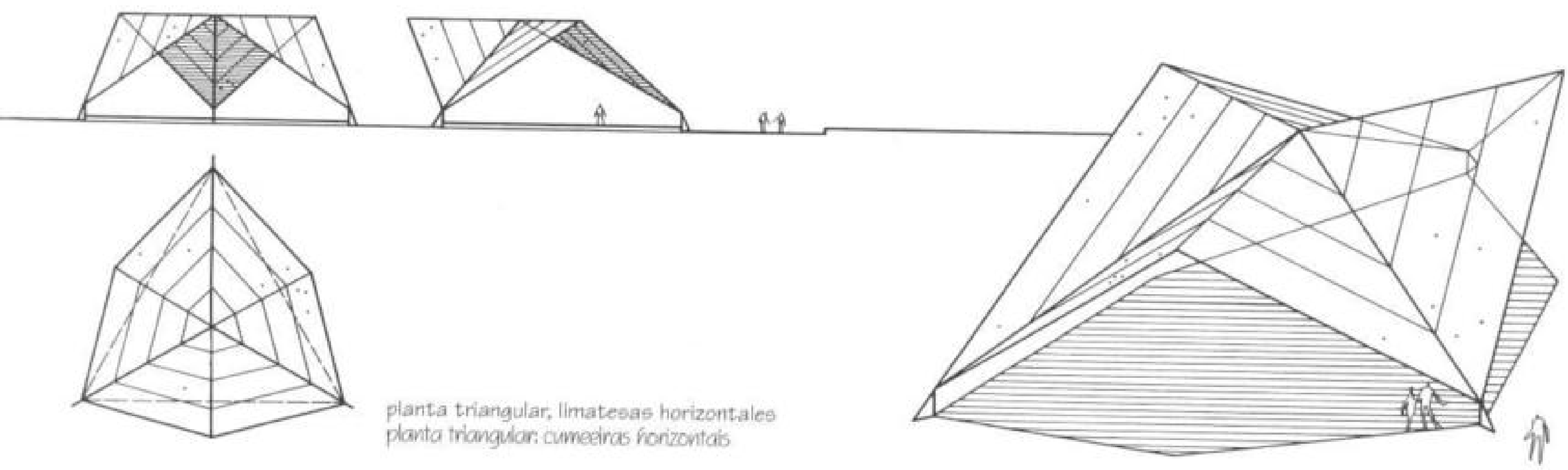
Arco triarticulado
Arco triarticulado

## Sistemas estructurales lineales a base de intersecciones de superficies plegadas

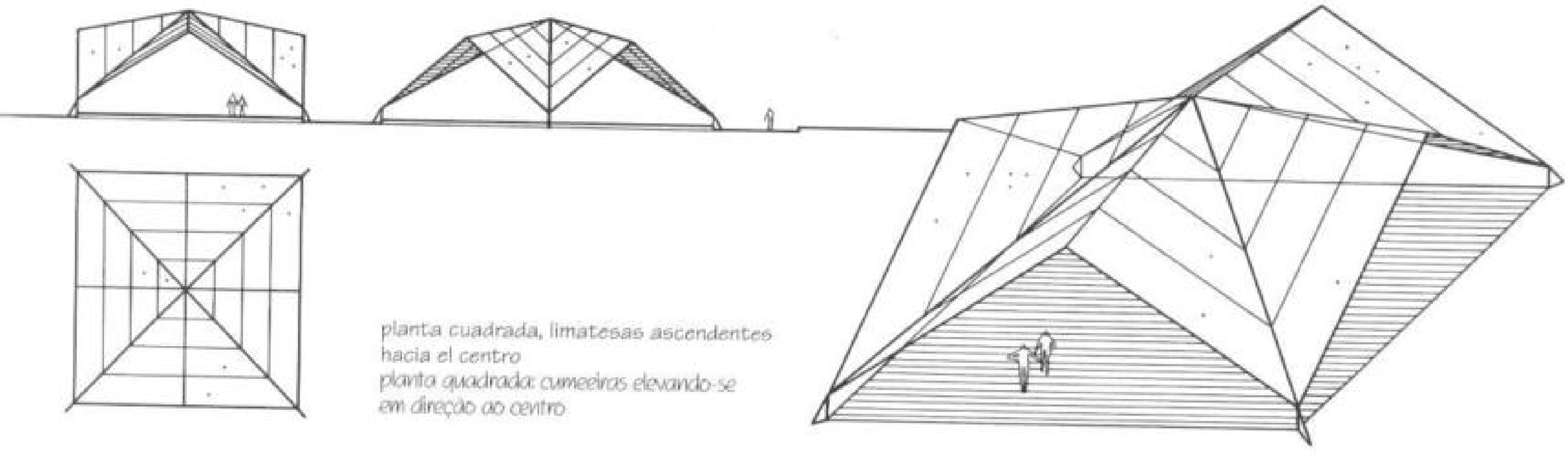
superficies con pliegues sencillos sobre una planta de geometría especial

## Sistemas estruturais baseados na interseção de superficies dobradas

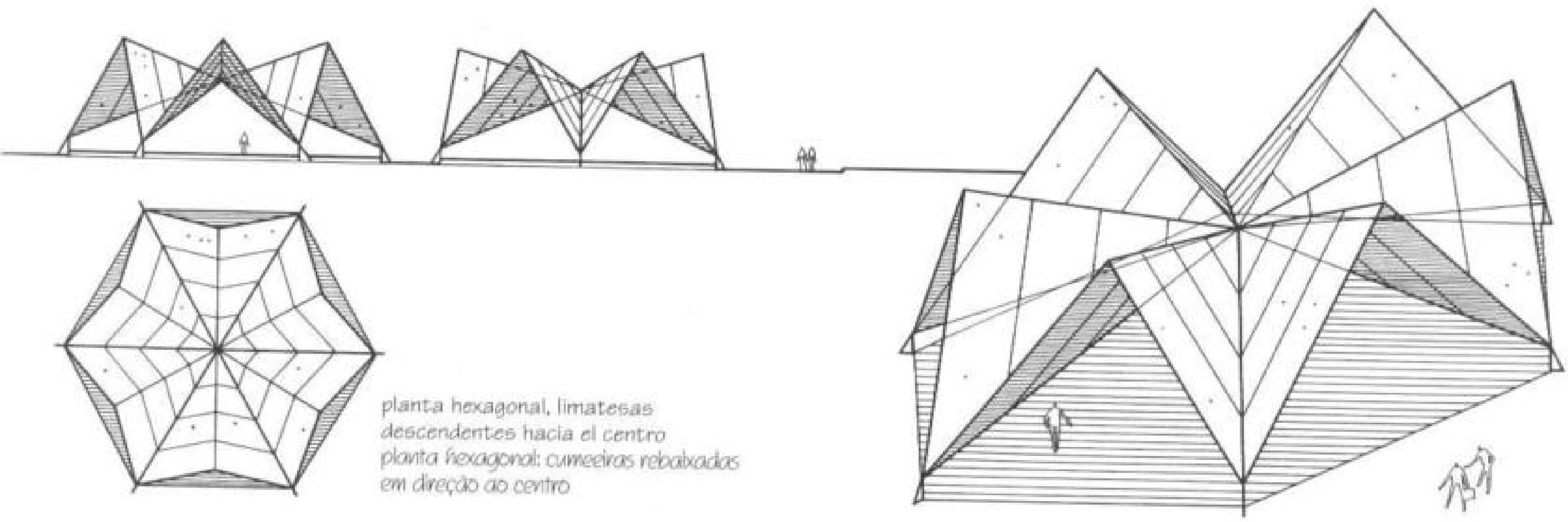
superficies simples dobradas sobre plantas geométricas especiais



planta triangular, limatesas horizontales
*planta triangular: cumeeiras horizontais*



planta cuadrada, limatesas ascendentes hacia el centro
*planta quadrada: cumeeiras elevando-se em direção ao centro*



planta hexagonal, limatesas descendentes hacia el centro
*planta hexagonal: cumeeiras rebaixadas em direção ao centro*

# Superficie activa

Sistemas de estructuras de

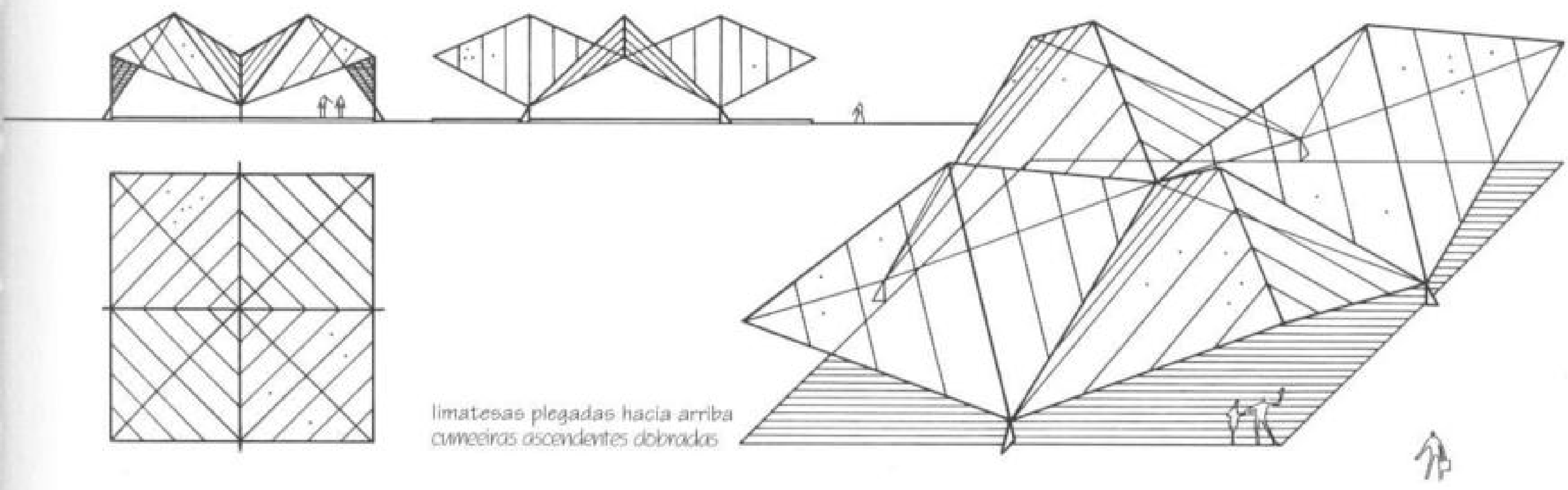
# 4

## Sistemas estructurales lineales a base de intersecciones de superficies plegadas

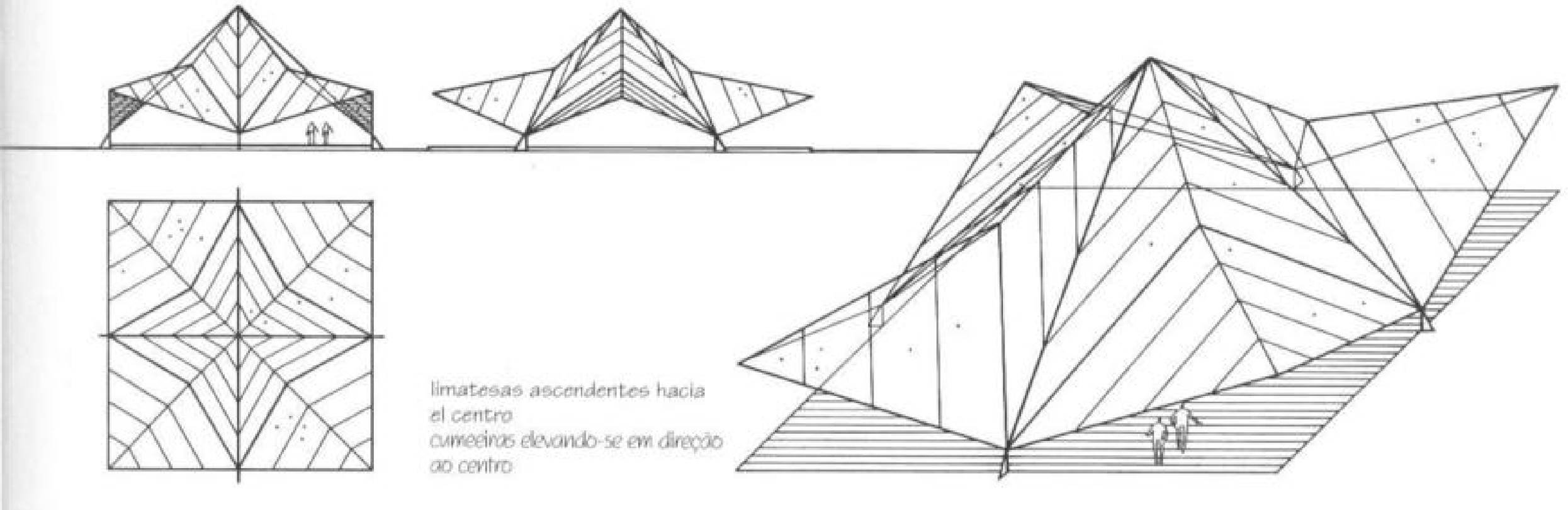
superficies con pliegues en cruz sobre una planta cuadrada

## Sistemas estruturais baseados na interseção de superfícies dobradas

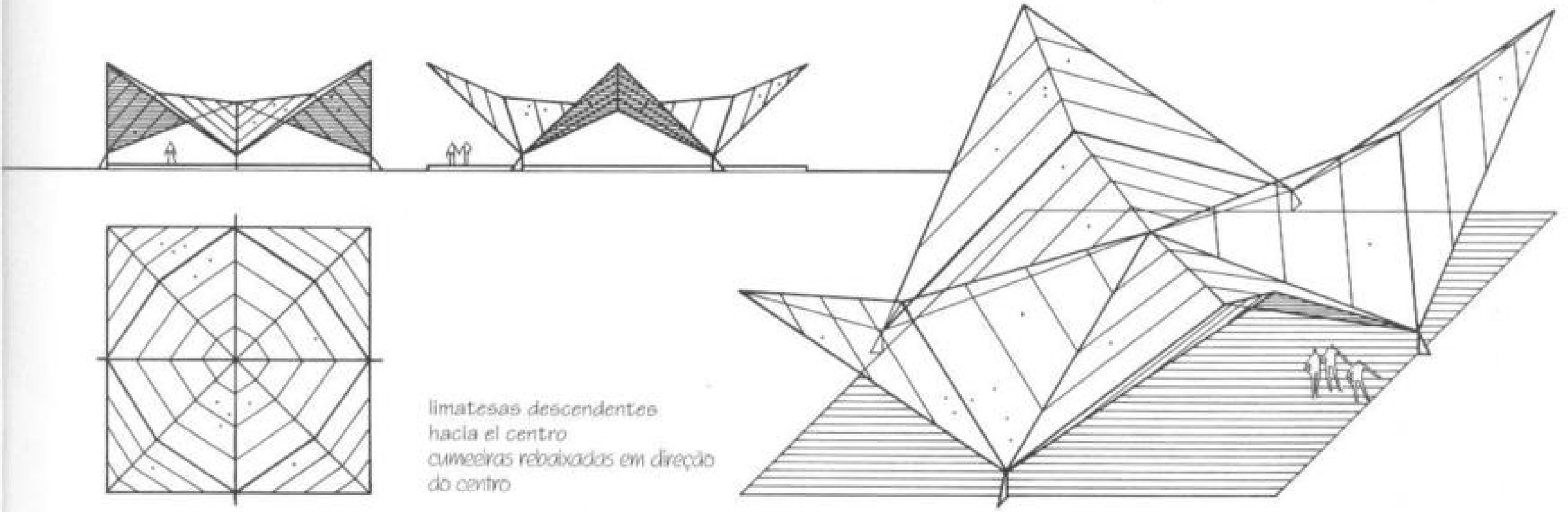
superfícies dobradas cruzadas dispostas diagonalmente sobre planta quadrada



limatesas plegadas hacia arriba
*cumeeiras ascendentes dobradas*



limatesas ascendentes hacia el centro
*cumeeiras elevando-se em direção ao centro*



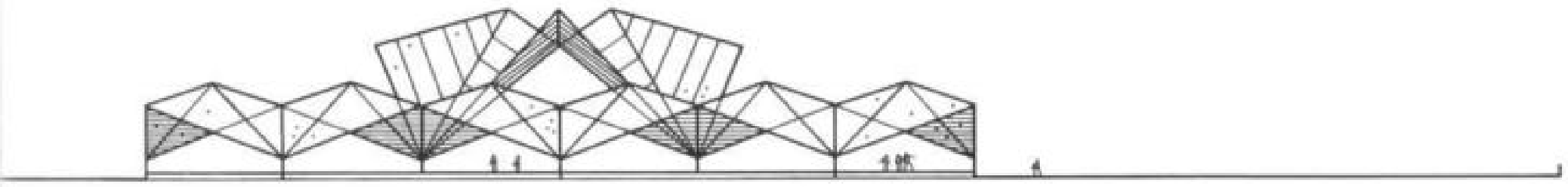
limatesas descendentes hacia el centro
*cumeeiras rebaixadas em direção do centro*

## Sistemas estructurales lineales a base de intersecciones de superficies plegadas

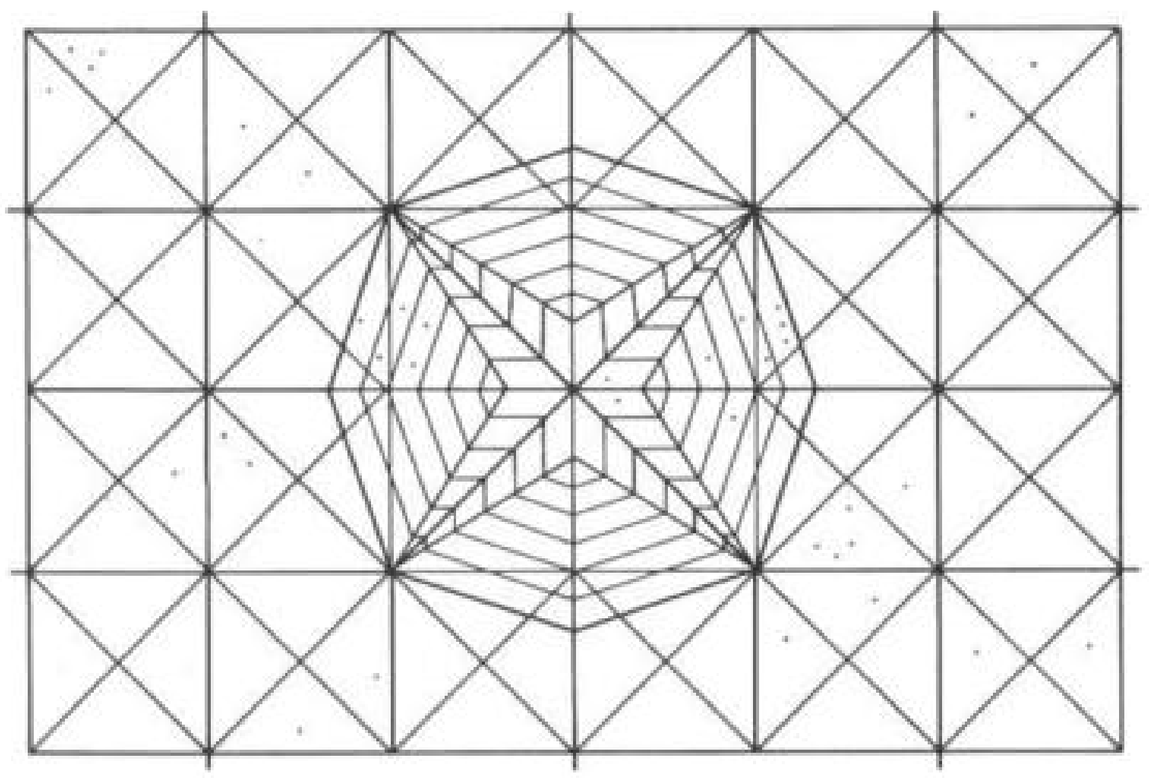
composición de superficies con pliegues en cruz sobre una planta cuadrada

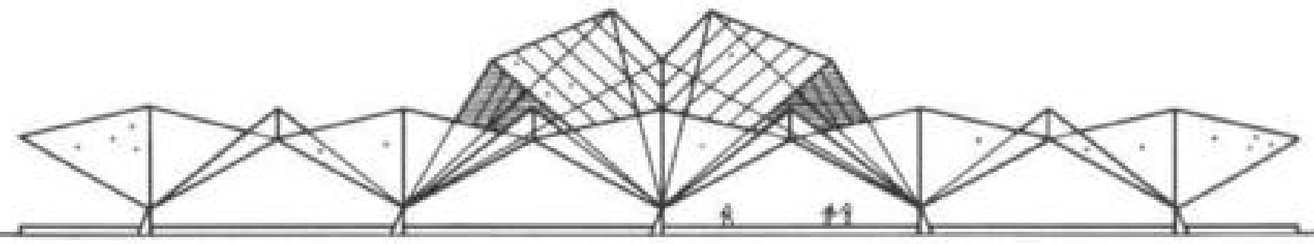
## Sistemas estruturais baseados na interseção de superfícies dobradas

composição de superfícies dobradas dispostas em forma de cruz sobre planta quadrada

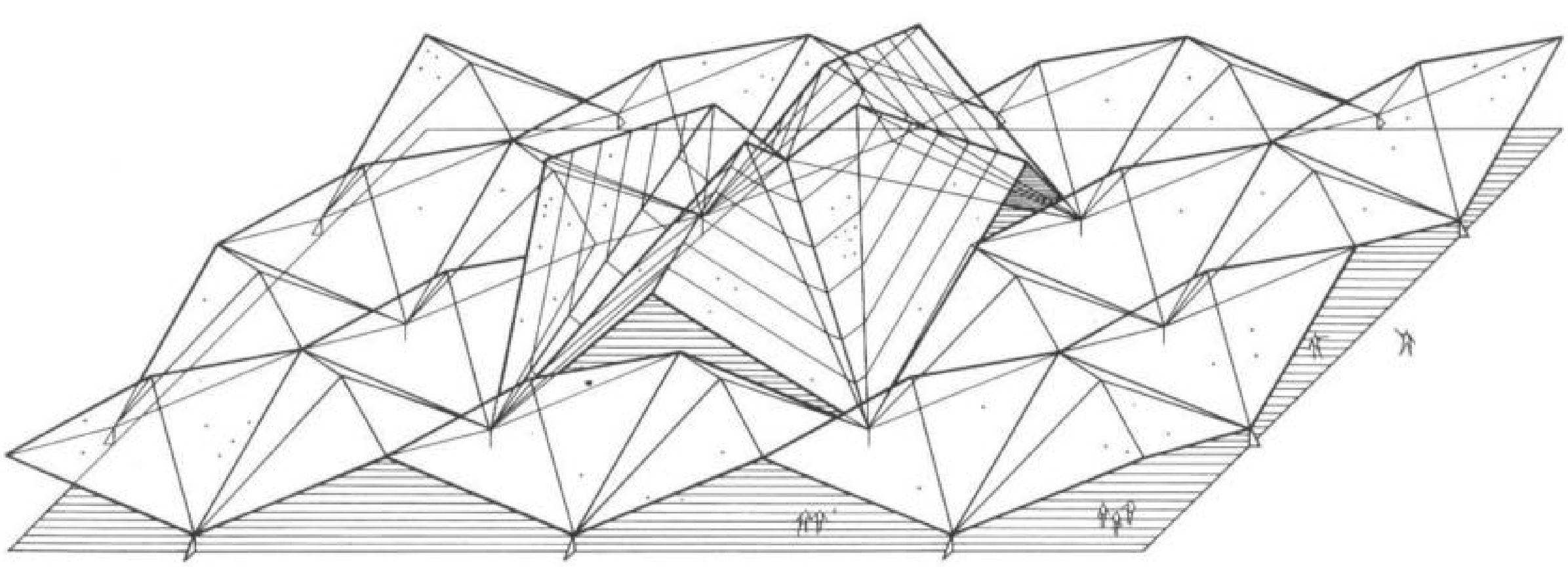


alzado frontal
perspectiva frontal





alzado a 45°
perspectiva em ângulo de 45°

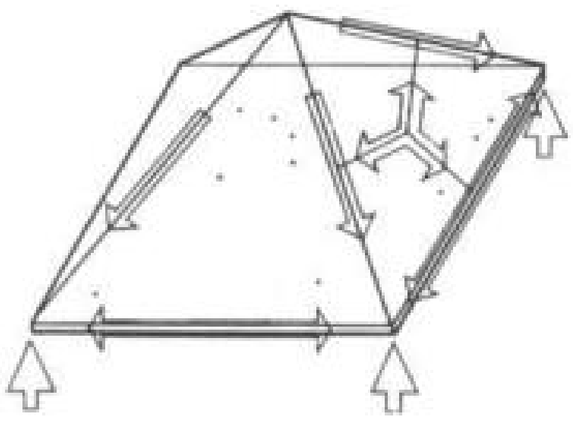


# Superficie activa

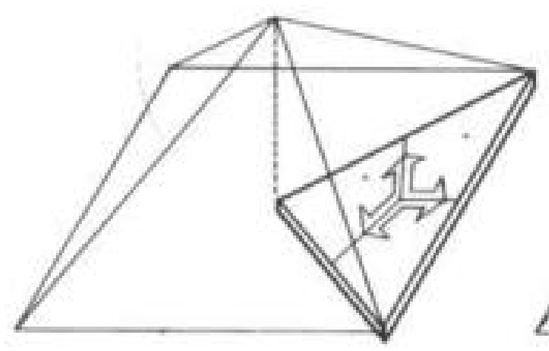
Sistemas de estructuras de **4**

## Acción portante triple de la losa plegada piramidal

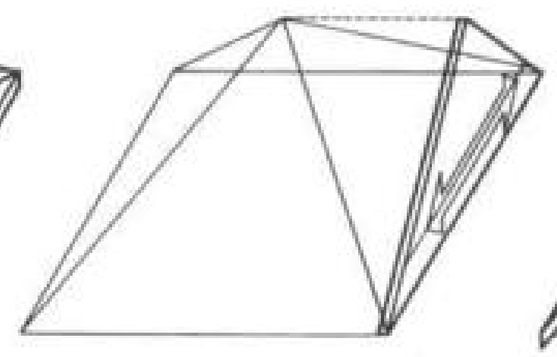
## Ação tripla da placa dobrada em forma de pirâmide



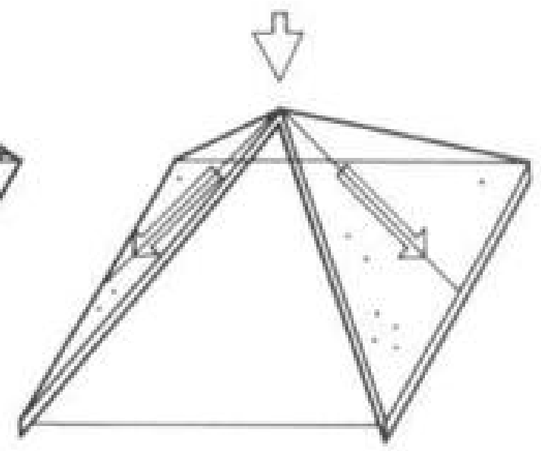
transmisión simplificada de las cargas
*fluxo de esforço simplificado*



acción de la losa
*efeito de laje*



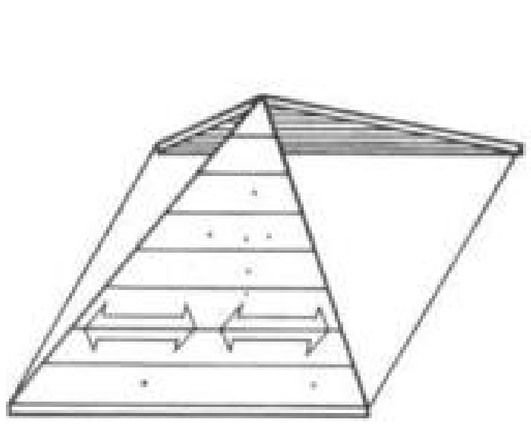
acción de la lámina
*efeito de placa*



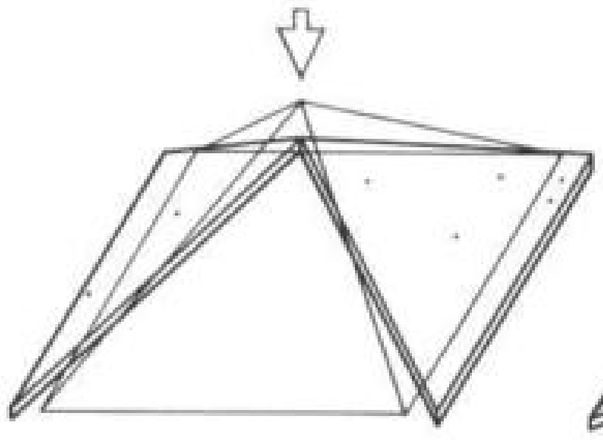
acción de la cercha (pórtico)
*efeito de treliça*

## Rigidización integral frente a deformaciones del perfil plegado

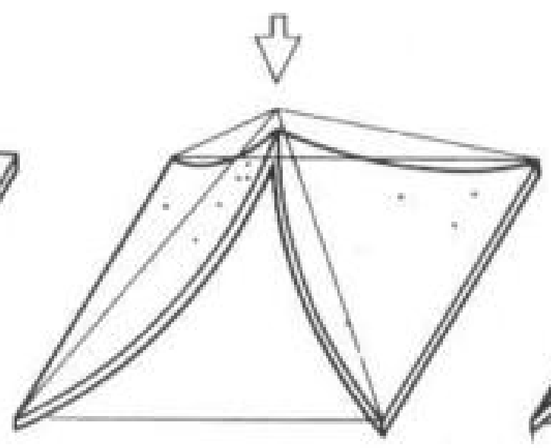
## Enrijecimento integral contra deformações do perfil dobrado



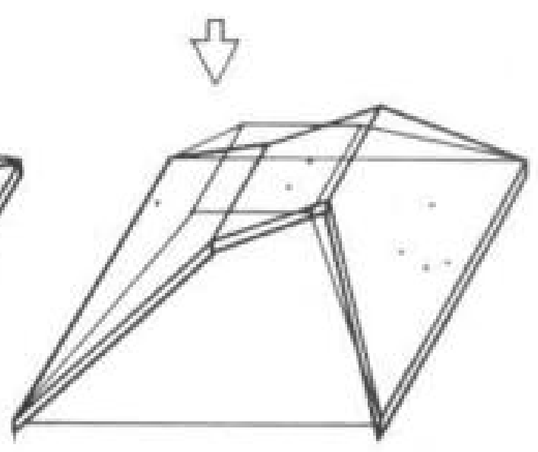
cada par de superficies opuestas actúa como rigidizadora del otro par
*cada par de superficies opostas funciona como enrijecedor do outro par de superficies*



desplazamiento de los bordes inferiores
*deslocamento de bordas inferiores*



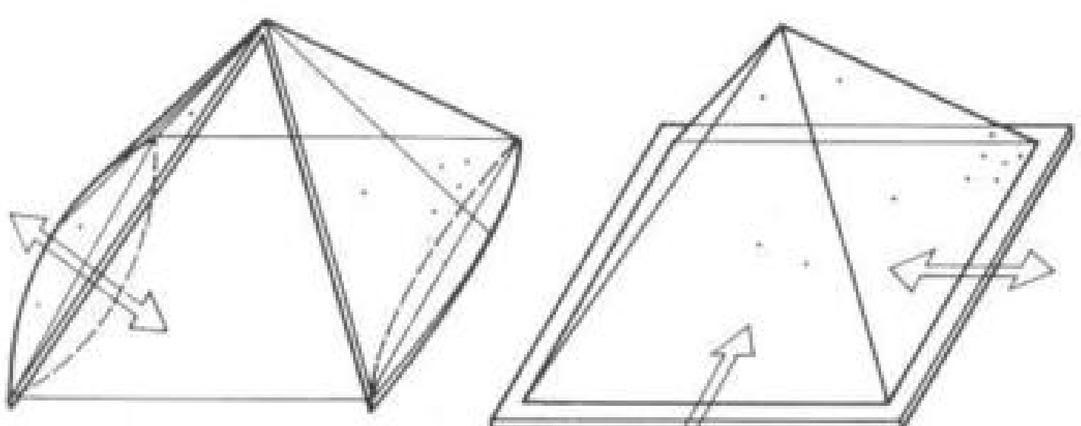
abolladura de ambas láminas
*abaulamento das placas*



modificación del ángulo de plegado
*mudança do ângulo de dobra*

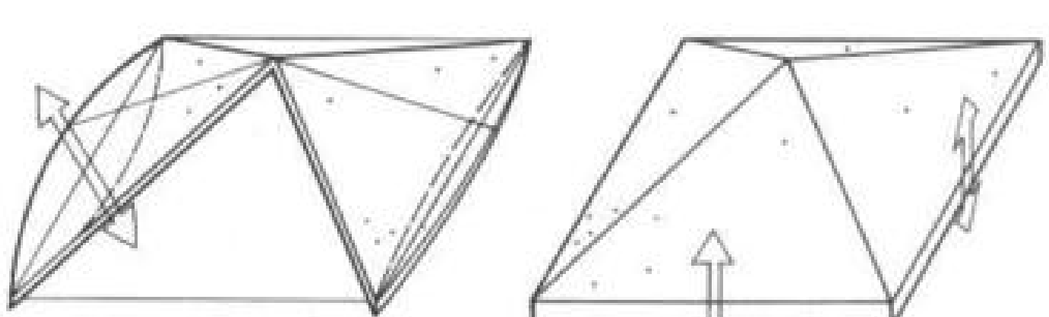
## Rigidización frente a una deformación crítica del borde inferior

## Enrijecimento contra deformação crítica de borda livre



en el caso de superficies de pendiente elevada, los componentes principales de la abolladura son horizontales — rigidizador horizontal

*em superfícies de inclinação elevada a maior componente da direção do abaulamento é horizontal* — *enrijecedor horizontal*

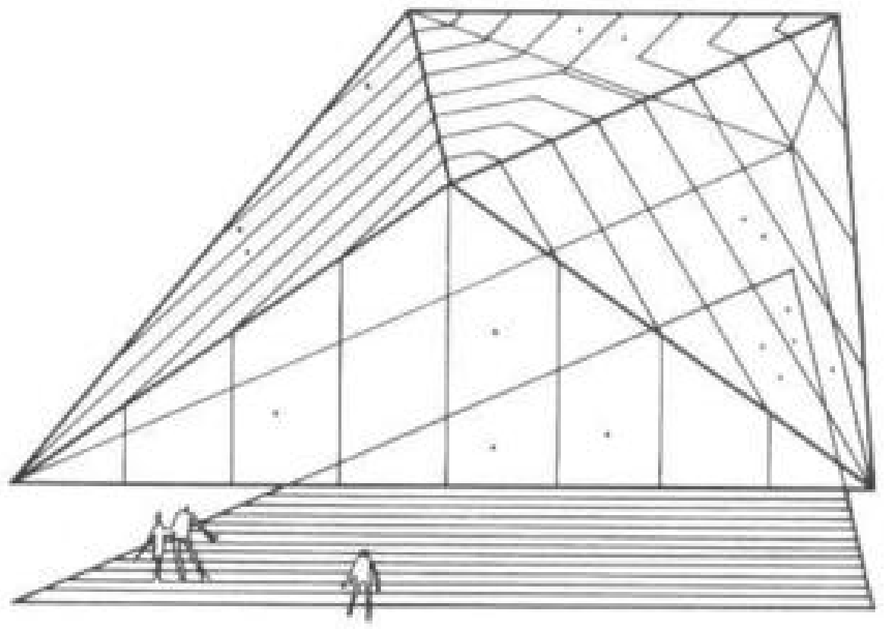


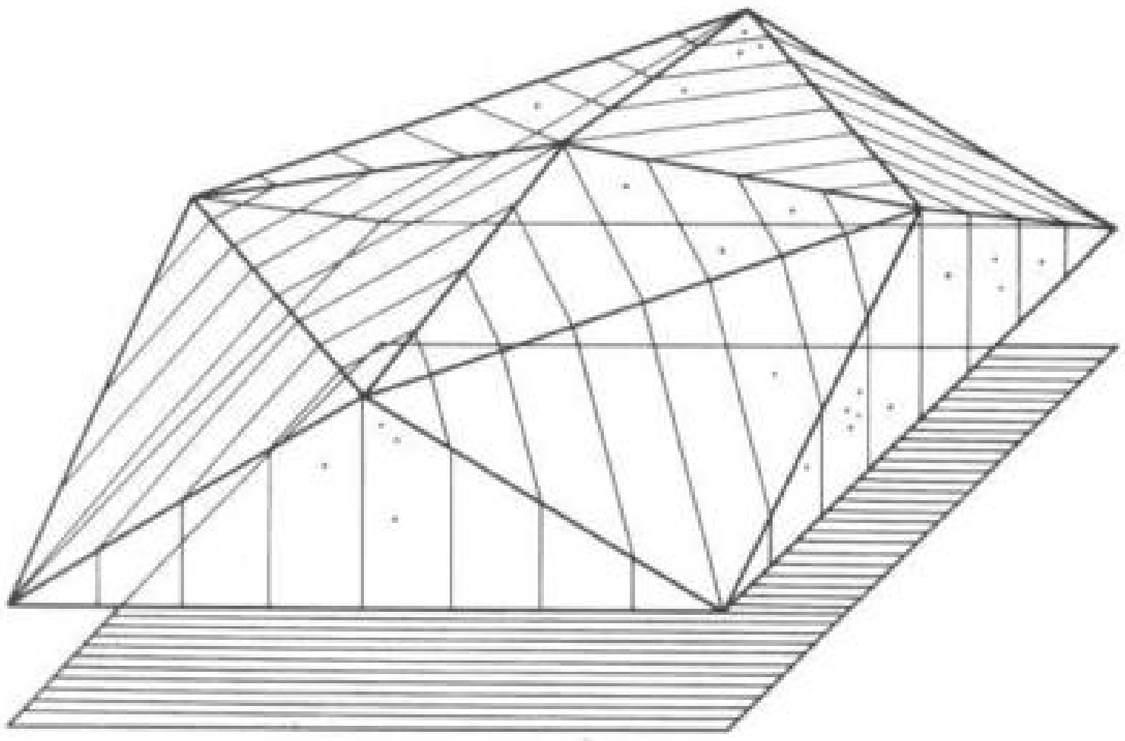
en el caso de superficies de poca pendiente, los componentes principales de la abolladura son verticales — rigidizador vertical

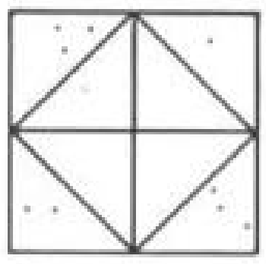
*em superfícies de pouca inclinação, a maior componente da direção do abaulamento é vertical* — *enrijecedor vertical*

Sistemas estructurales lineales formados por superficies triangulares plegadas

Sistemas estruturais de superfícies dobradas triangulares

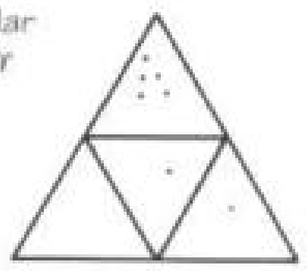


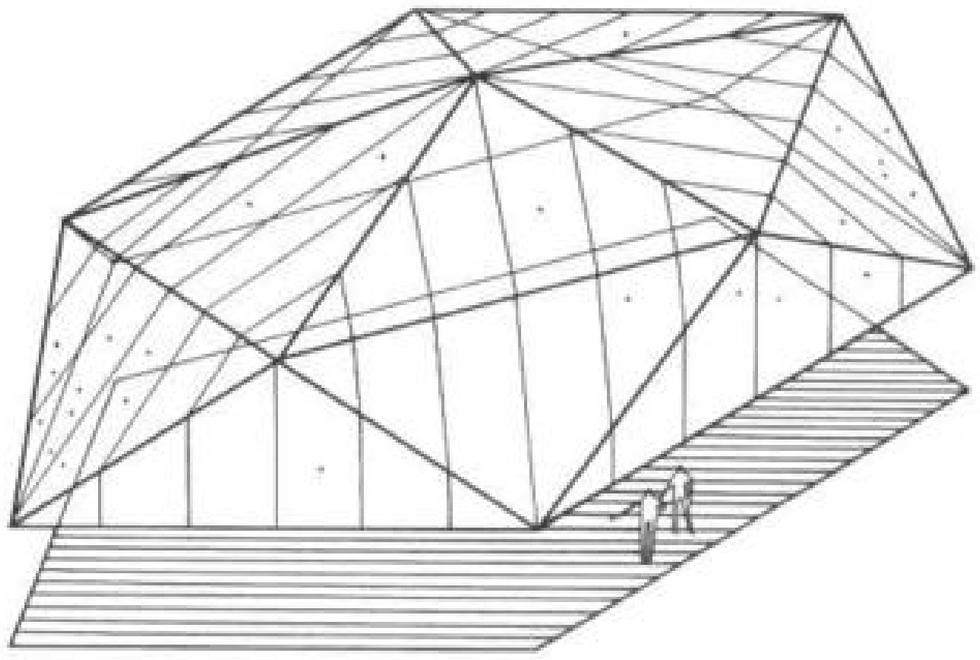


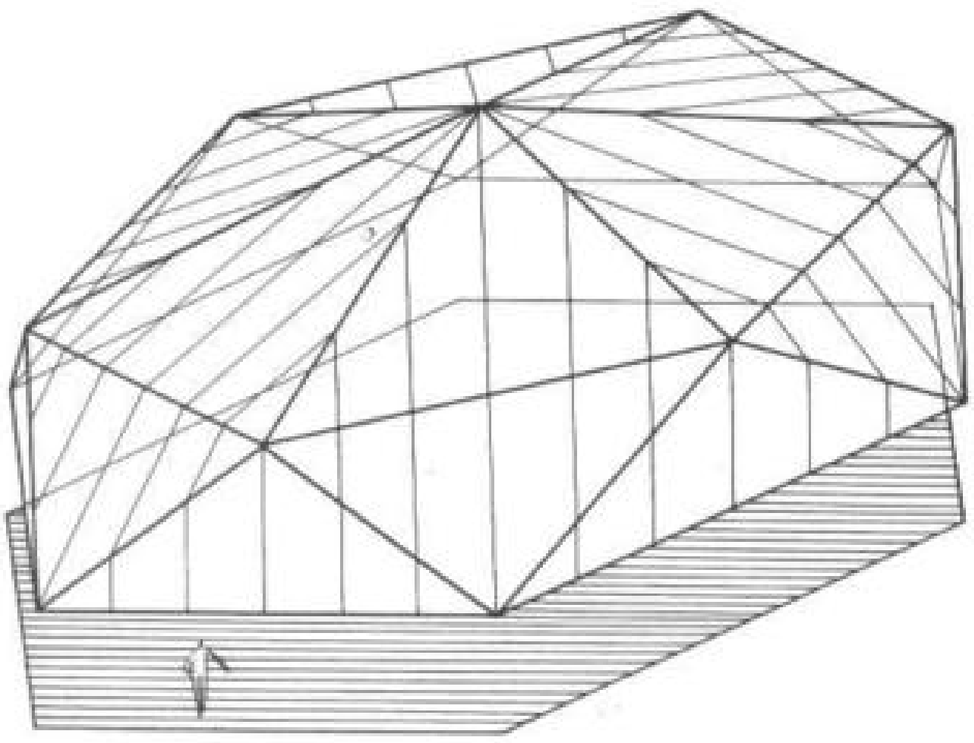


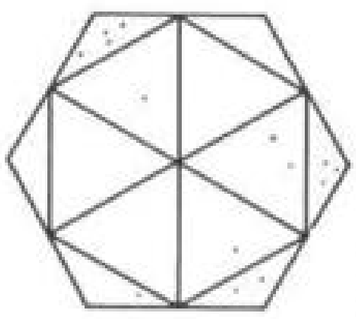
planta cuadrada
planta quadrada

planta triangular
planta triangular



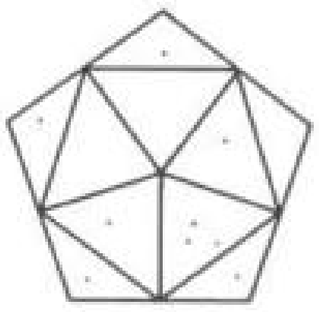






planta hexagonal
planta hexagonal

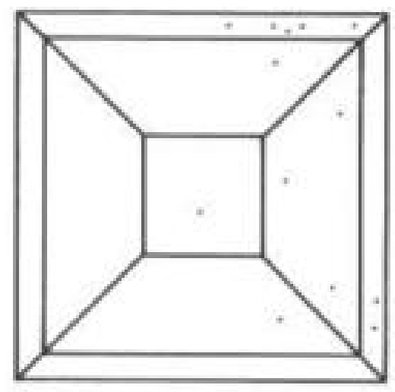
planta pentagonal
planta pentagonal

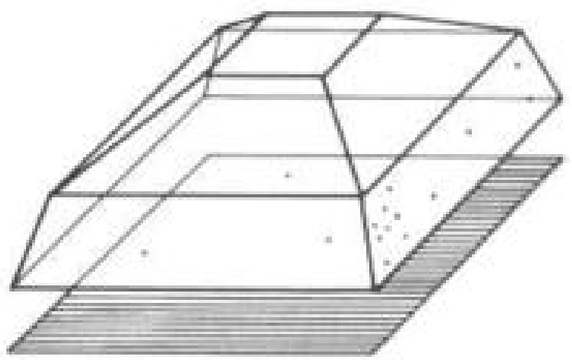


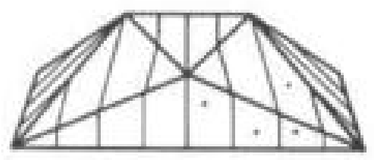
## Variaciones del plegado de una forma básica dada
## Variações para o dobramento de uma dada forma estrutural básica

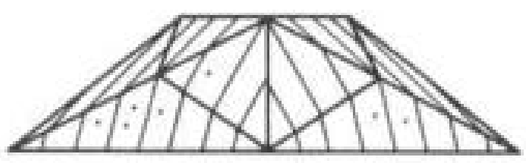
forma básica:
pirámide truncada
con dos pliegues

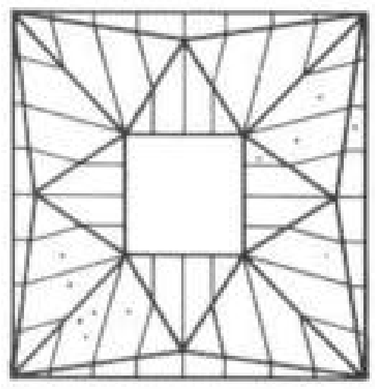
forma estrutural básica:
pirâmide truncada
duplamente dobrada

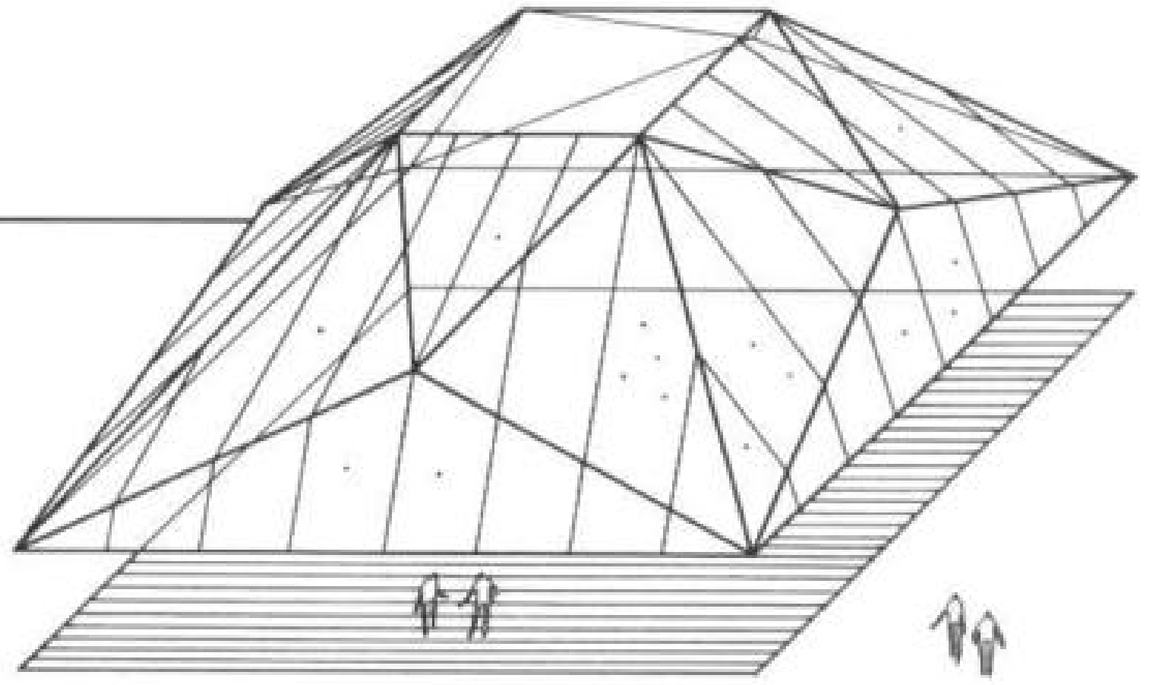


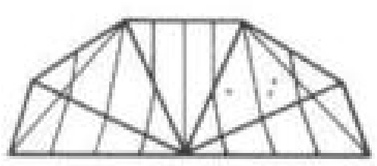


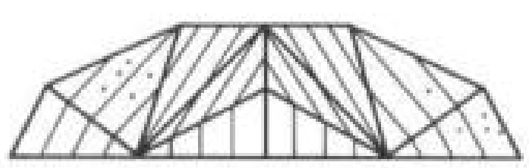


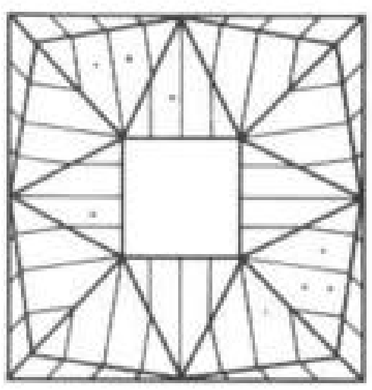


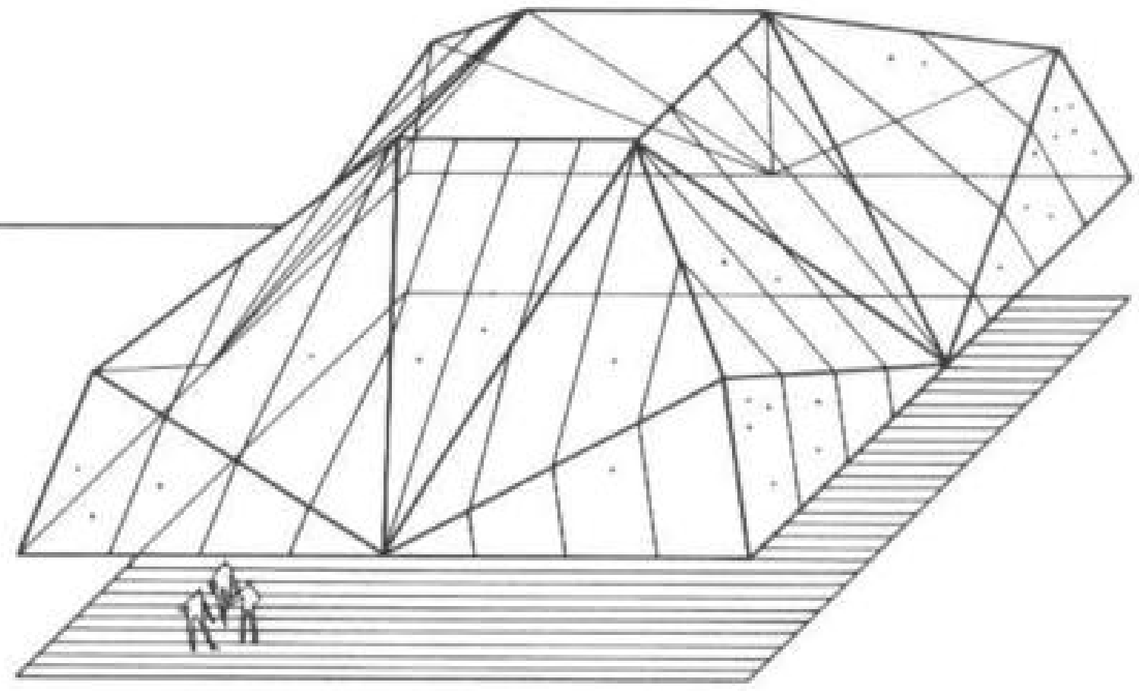


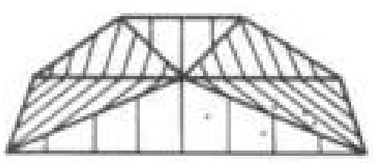


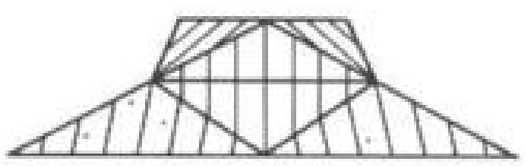


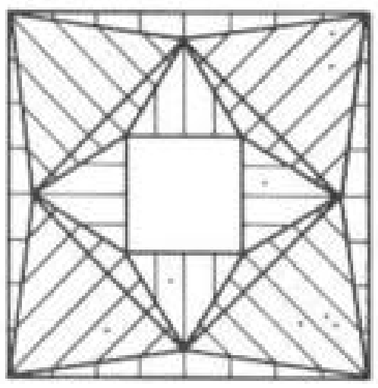


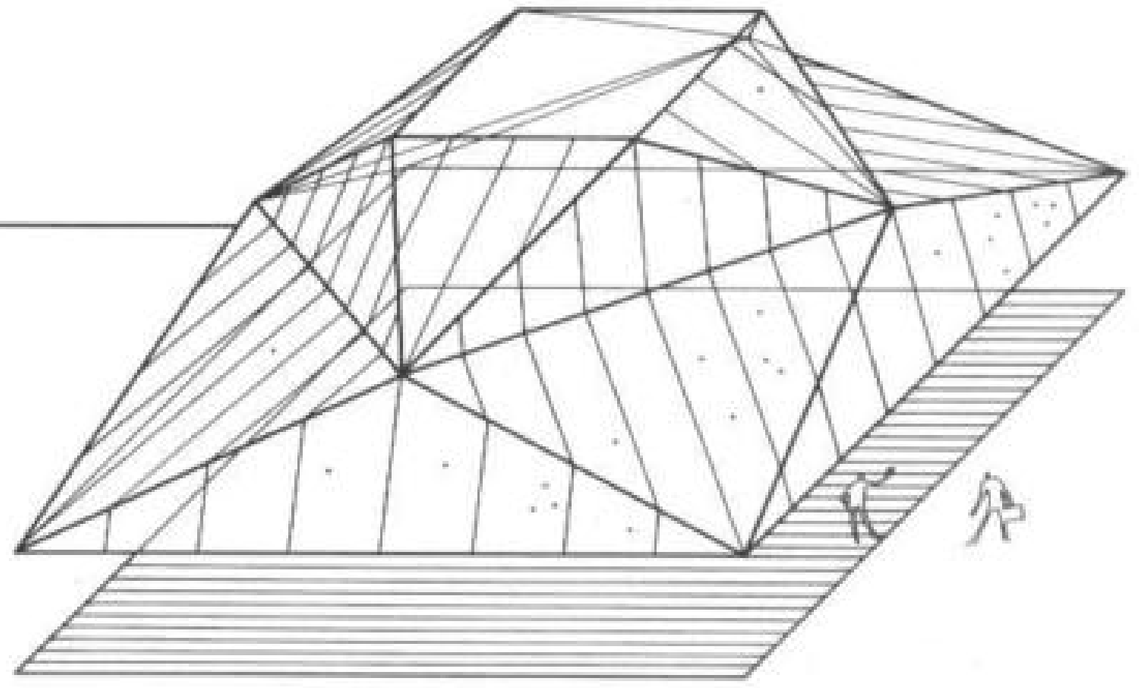






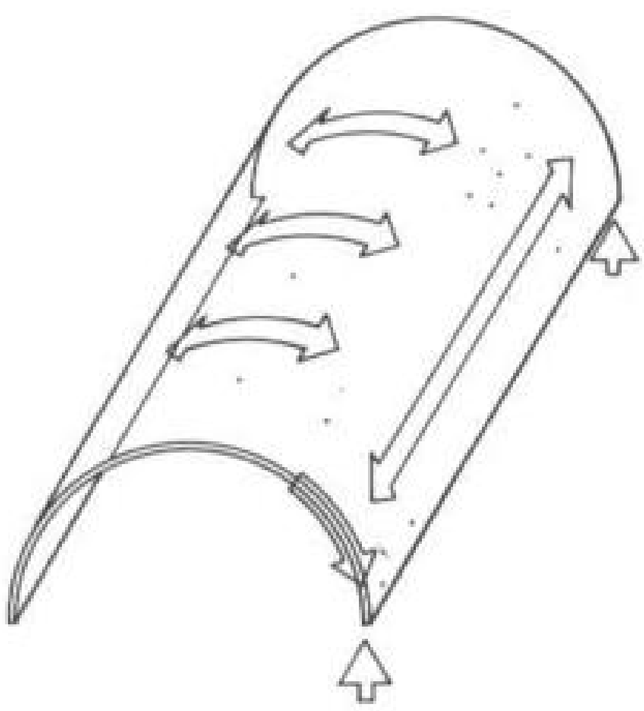




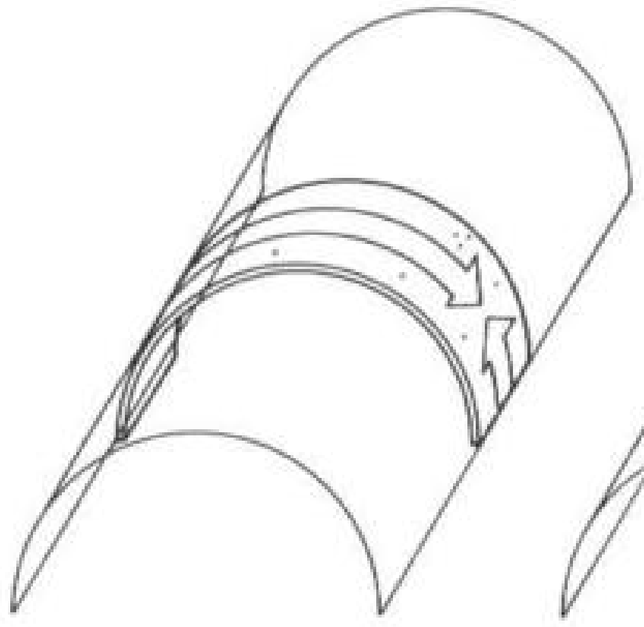


## Acción portante triple de una lámina de curvatura simple

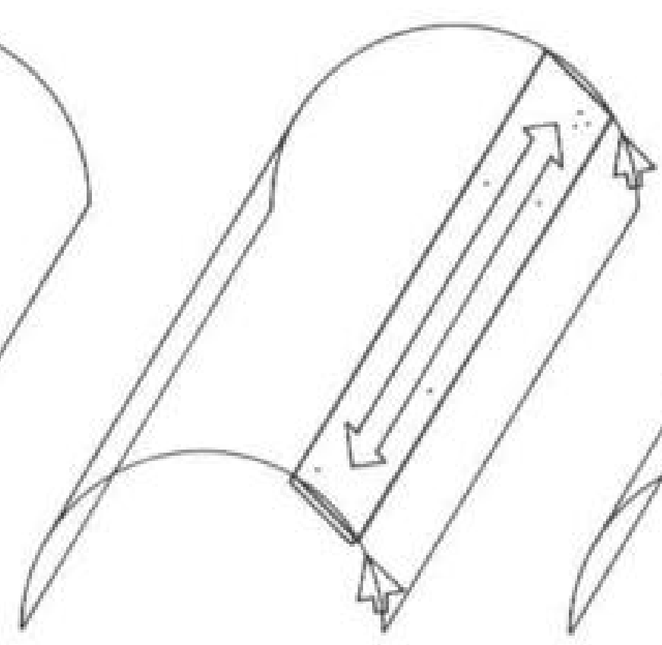
## Ação portante tripla de casca de curva simples



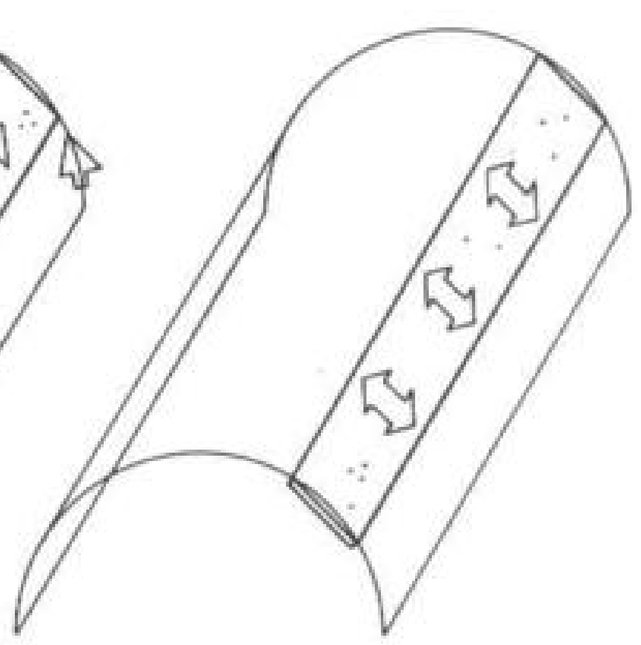
transmisión simplificada de las cargas
fluxo de esforço simplificado



efecto de arco
efeito de arco



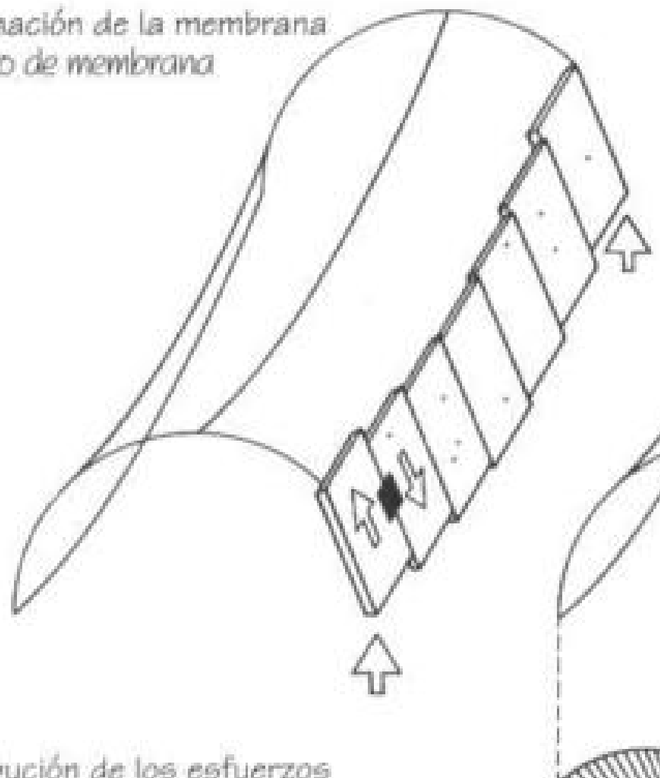
efecto de lámina
efeito de placa



efecto de lámina
efeito de laje

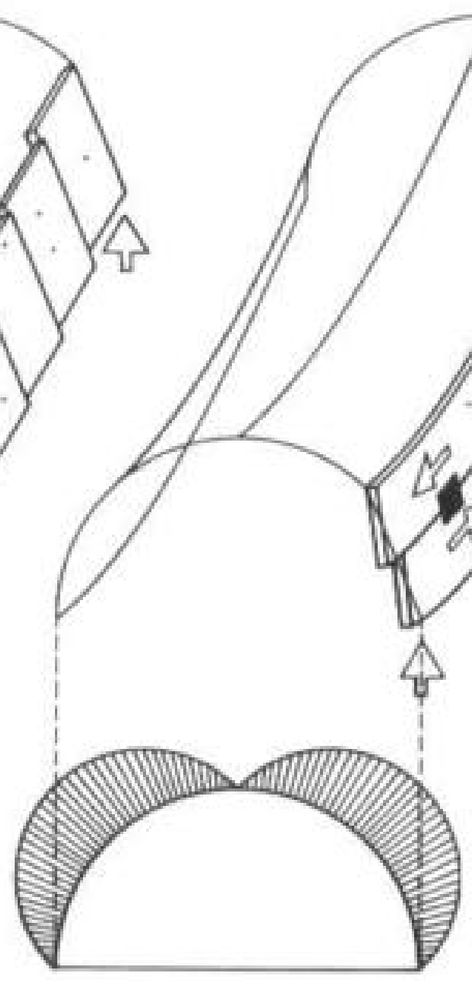
## Mecanismo portante de la lámina de curvatura simple. Esfuerzos de la membrana

## Mecanismo portante de casca curva simples. Esforços da casca

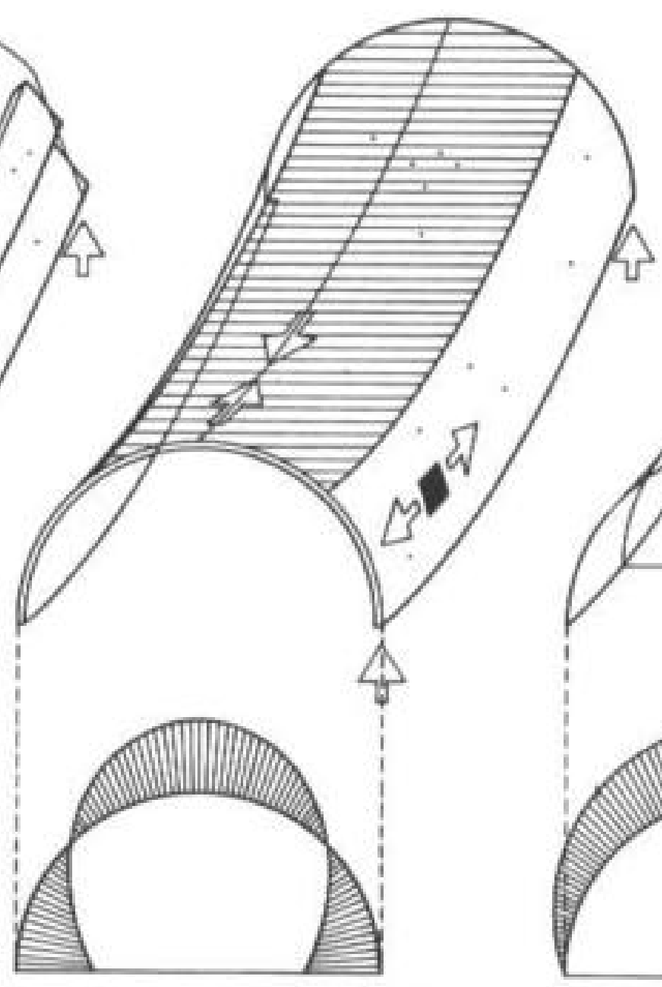


deformación de la membrana
deflexão de membrana

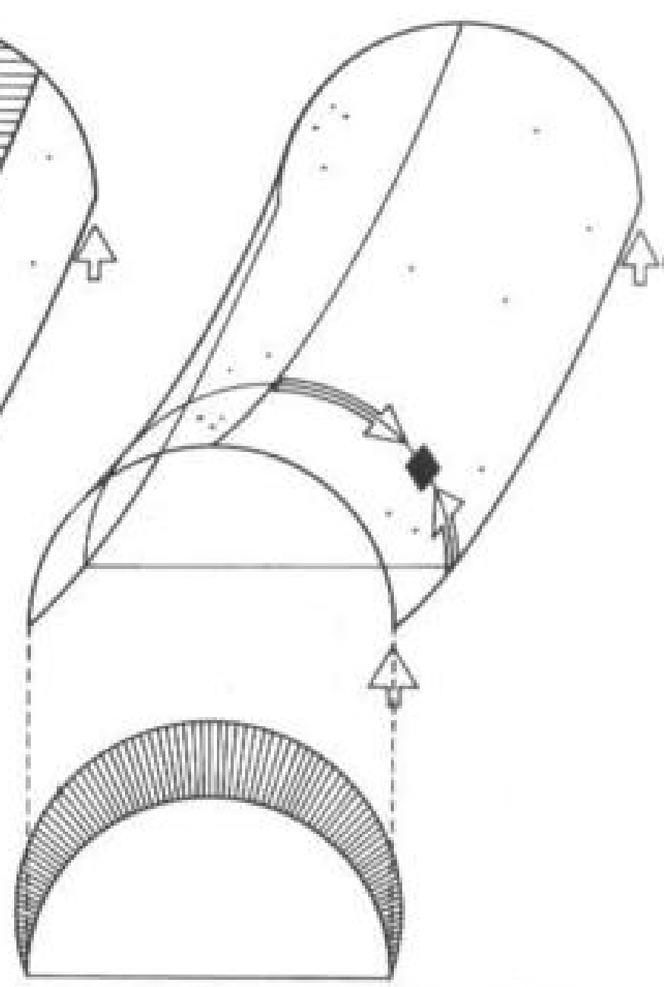
distribución de los esfuerzos de la membrana
diagrama de esforços de membrana



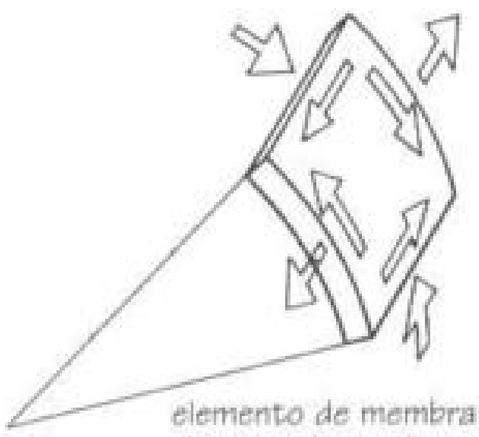
esfuerzos cortantes de la membrana
esforço cortante da casca



esfuerzos longitudinales de la membrana (tracción/compresión)
esforço longitudinal da casca



esfuerzos tangenciales de la membrana, fuerzas anulares (compresión)
esforço tangencial da casca



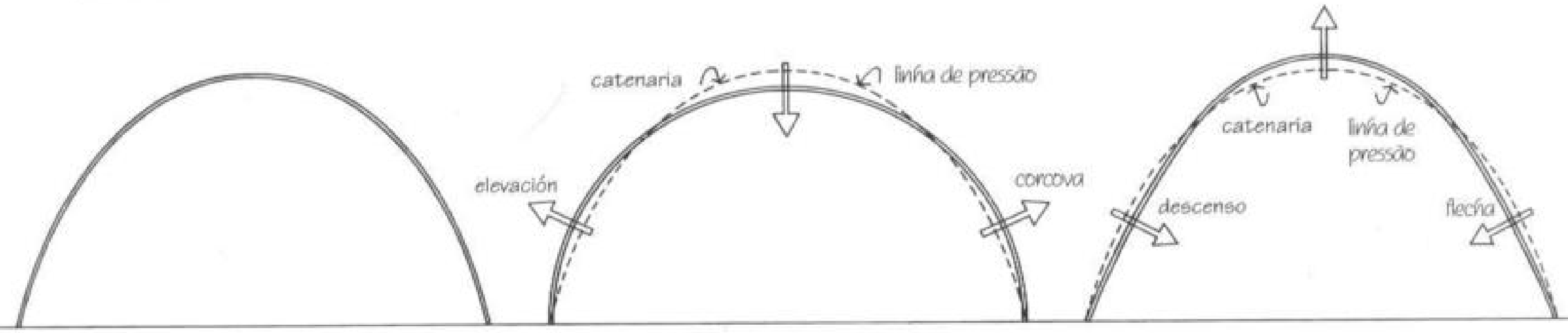
elemento de membrana
elemento de membrana

Los elementos superficiales se deforman, igual que una lona atirantada entre dos arcos finales rígidos, hasta activar suficientes esfuerzos cortantes y normales en el interior de la superficie, para poder transmitir la carga a los arcos extremos.

Como em uma lona esticada entre dois arcos rígidos, os elementos de superfície dão origem à carga, até que se criem suficientes esforços normais e de cisalhamento, para transmiti-la aos arcos finais.

## Influencia de la curvatura transversal en la acción longitudinal de la membrana

## Influência da curvatura transversal sobre a ação longitudinal da casca



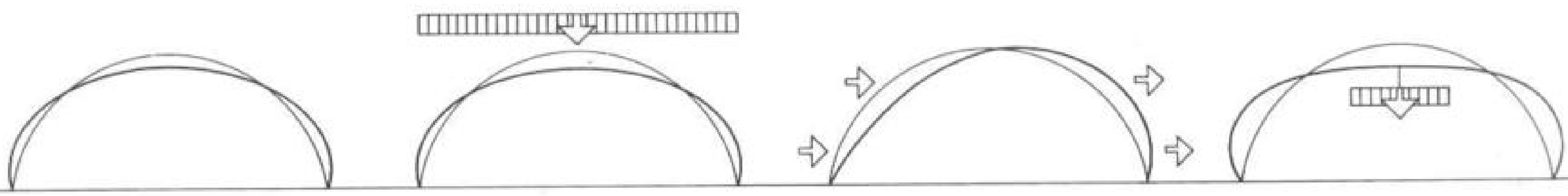

catenaria / *linha de pressão* — semicírculo / *semicírculo* — divergencia libre / *desvio livre*

Si la curvatura transversal es una catenaria, todo el peso propio se transmite a los bordes de la membrana y no se emplea la capacidad portante de la membrana en sentido longitudinal (esfuerzos longitudinales y cortantes = 0). Sólo al elegir una curva transversal que se aparte de la catenaria se solicita la membrana en sentido longitudinal y, además, en proporción al grado de divergencia.

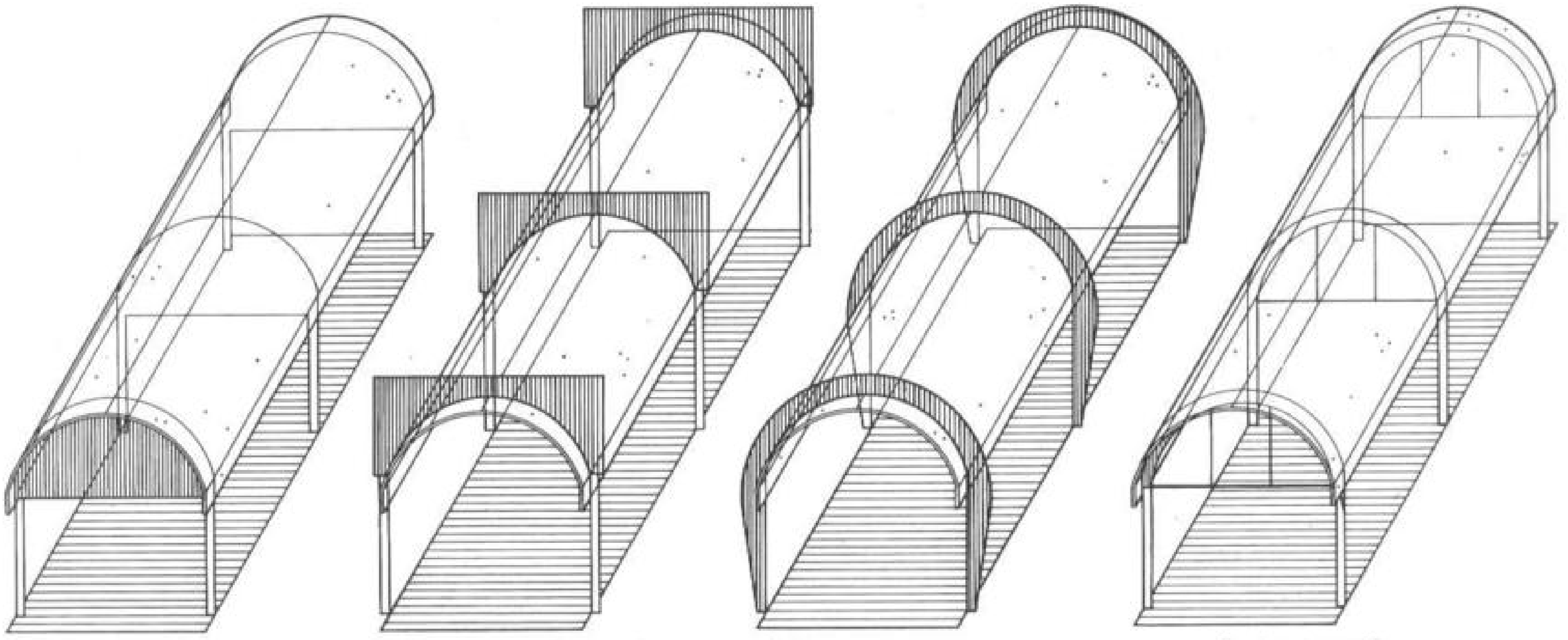
*Se a curvatura transversal segue a linha de pressão, todo o peso próprio é canalizado para a borda da casca e a capacidade de resistência longitudinal da membrana não entra em ação (esforços de cisalhamento e longitudinais =0). Somente pela escolha de uma curvatura que se desvie da linha de pressão a membrana será forçada longitudinalmente. A grandeza dependerá do grau de desvio.*

## Rigidización frente a una deformación crítica del perfil transversal. Formas típicas de rigidizadores transversales

## Enrijecimento contra a deformação crítica do perfil transversal. Formas típicas de enrijecedores



peso propio / *peso próprio* — carga de nieve / *carga de neve* — empuje del viento / *carga de vento* — carga puntual / *carga pontual*



láminas transversales inferiores / *placa transversal interior*

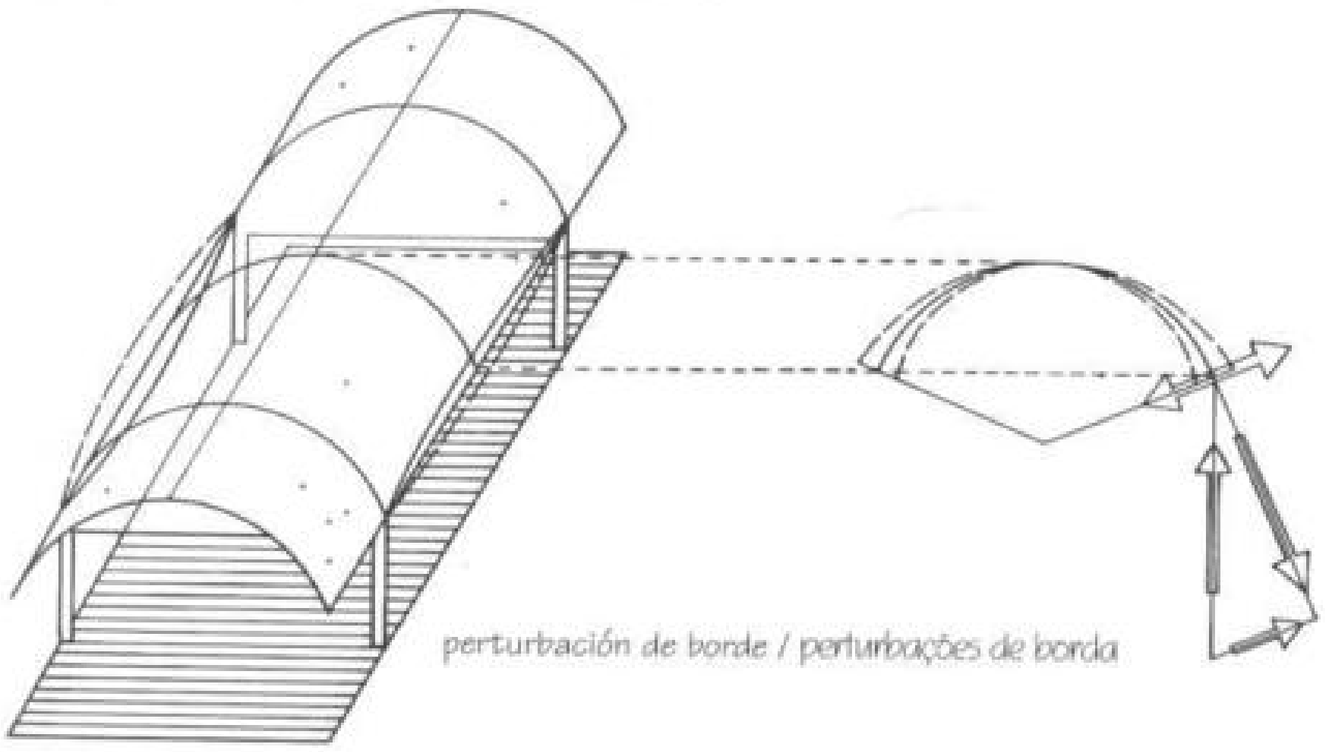
láminas transversales superiores / *placa transversal superior*

pórtico / *pórtico*

arco con franjas a tracción / *arco com cabo de tração*

## Rigidización longitudinal del borde libre de la membrana

Formas estandarizadas de rigidizadores de borde



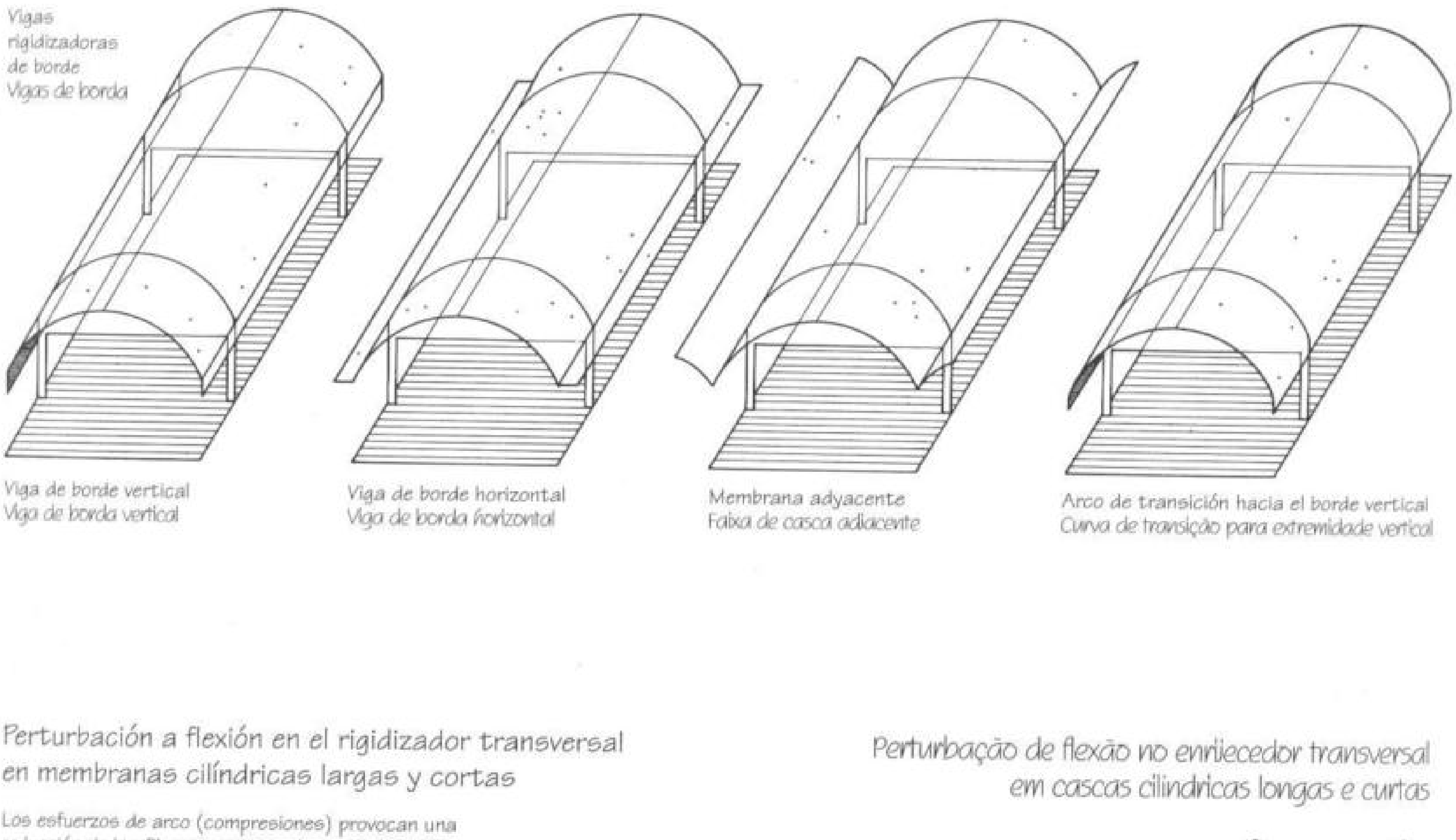
perturbación de borde / perturbações de borda

Si la tangente del extremo no es vertical, una reacción en el punto de apoyo del borde de la membrana generará un momento flector de borde. Rigidizando el borde de la membrana se puede absorber este esfuerzo, aunque aparece una perturbación de flexión debido a la diferencia de rigidez entre la membrana y el elemento de borde.

## Enrijecimento longitudinal da borda livre da casca

Formas padronizadas de enrijecedores de borda

Se a tangente final não for vertical, a reação componente normal ao plano introduzirá uma flexão na borda. Através de um enrijecimento longitudinal da borda, a força componente pode ser resistida, mas em conseqüência da diferença de rigidez entre a casca e a viga de borda, surgirão perturbações de borda com momentos fletores.




Viga de borde vertical
Viga de borda vertical

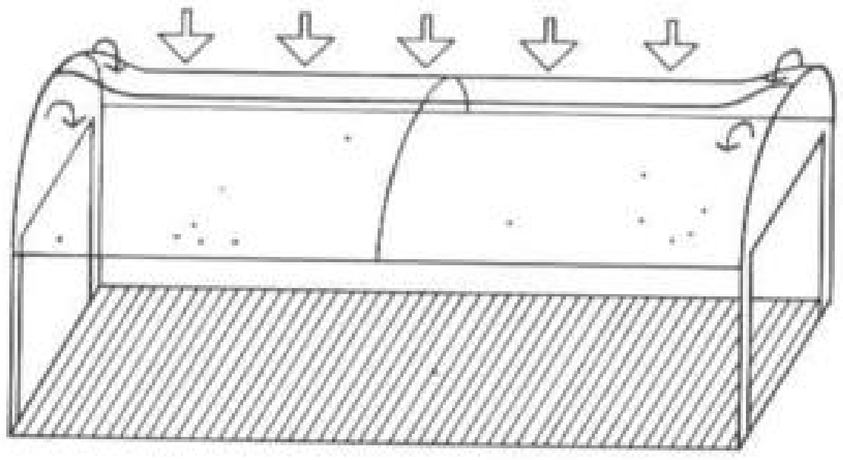
Viga de borde horizontal
Viga de borda horizontal

Membrana adyacente
Faixa de casca adjacente

Arco de transición hacia el borde vertical
Curva de transição para extremidade vertical

## Perturbación a flexión en el rigidizador transversal en membranas cilíndricas largas y cortas

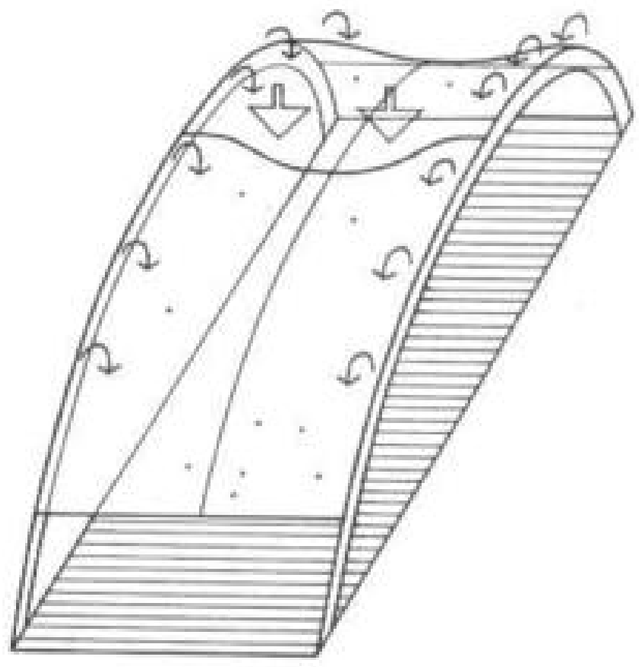
Los esfuerzos de arco (compresiones) provocan una reducción de las fibras transversales y un descenso de la parte superior del arco. En la proximidad de los rigidizadores transversales, el arco no puede deformarse y aparece una flexión. En las membranas largas con forma de bóveda de cañón, la perturbación por flexión sólo afecta a una franja estrecha junto a los extremos. En cambio, en las membranas cortas, la perturbación por flexión se extiende, debido al mayor radio y a la mayor proximidad de los rigidizadores, por una superficie proporcionalmente mayor.



Membrana cilíndrica larga
Casca cilíndrica longa

## Perturbação de flexão no enrijecedor transversal em cascas cilíndricas longas e curtas

As forças de arco (compressão) originam um encurtamento das fibras transversais e, conseqüentemente, um deslocamento do topo do arco. Nas proximidades dos enrijecedores, esse deslocamento não pode efetuar-se, portanto surge uma flexão. Nas cascas cilíndricas longas, a flexão é limitada à pequena fração de seu comprimento total. Nas cascas cilíndricas curtas, por causa do largo raio e do estreito espaço dos enrijecedores, a perturbação pela flexão estende-se em uma maior área da superfície.

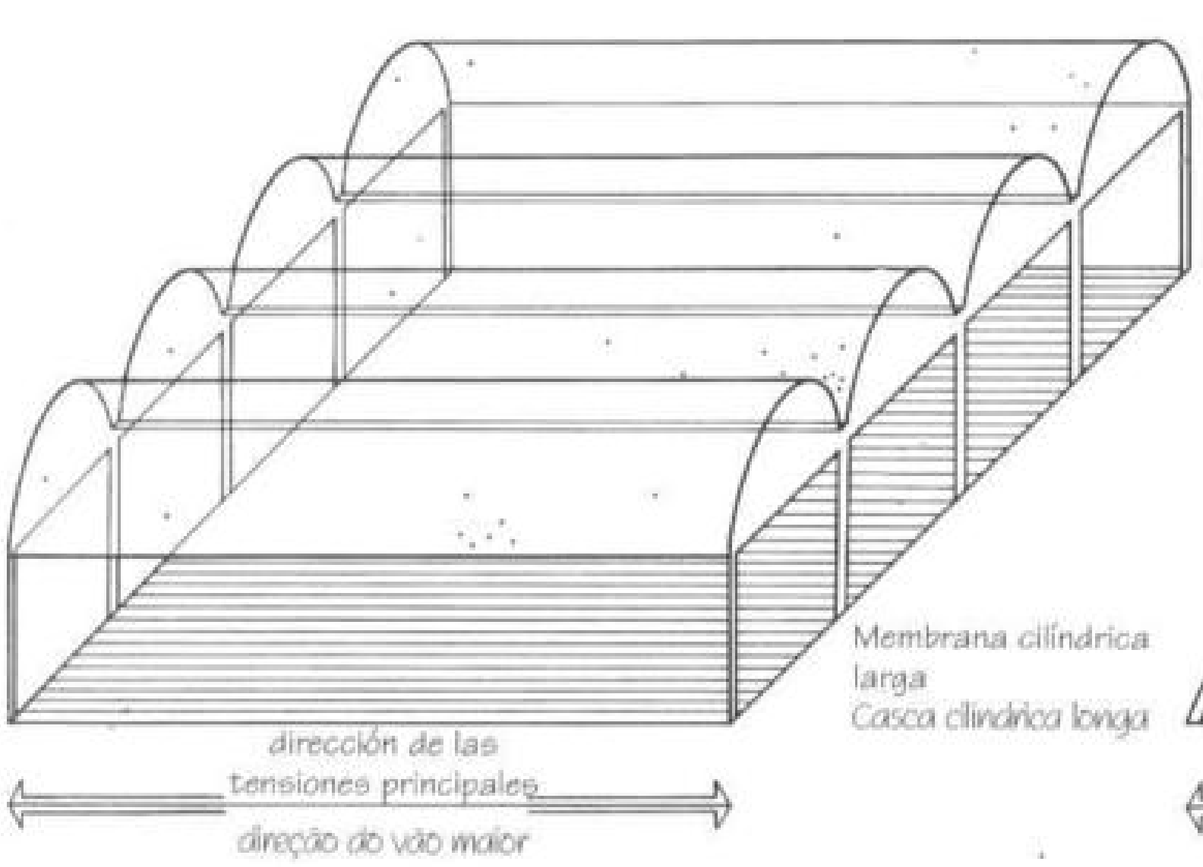


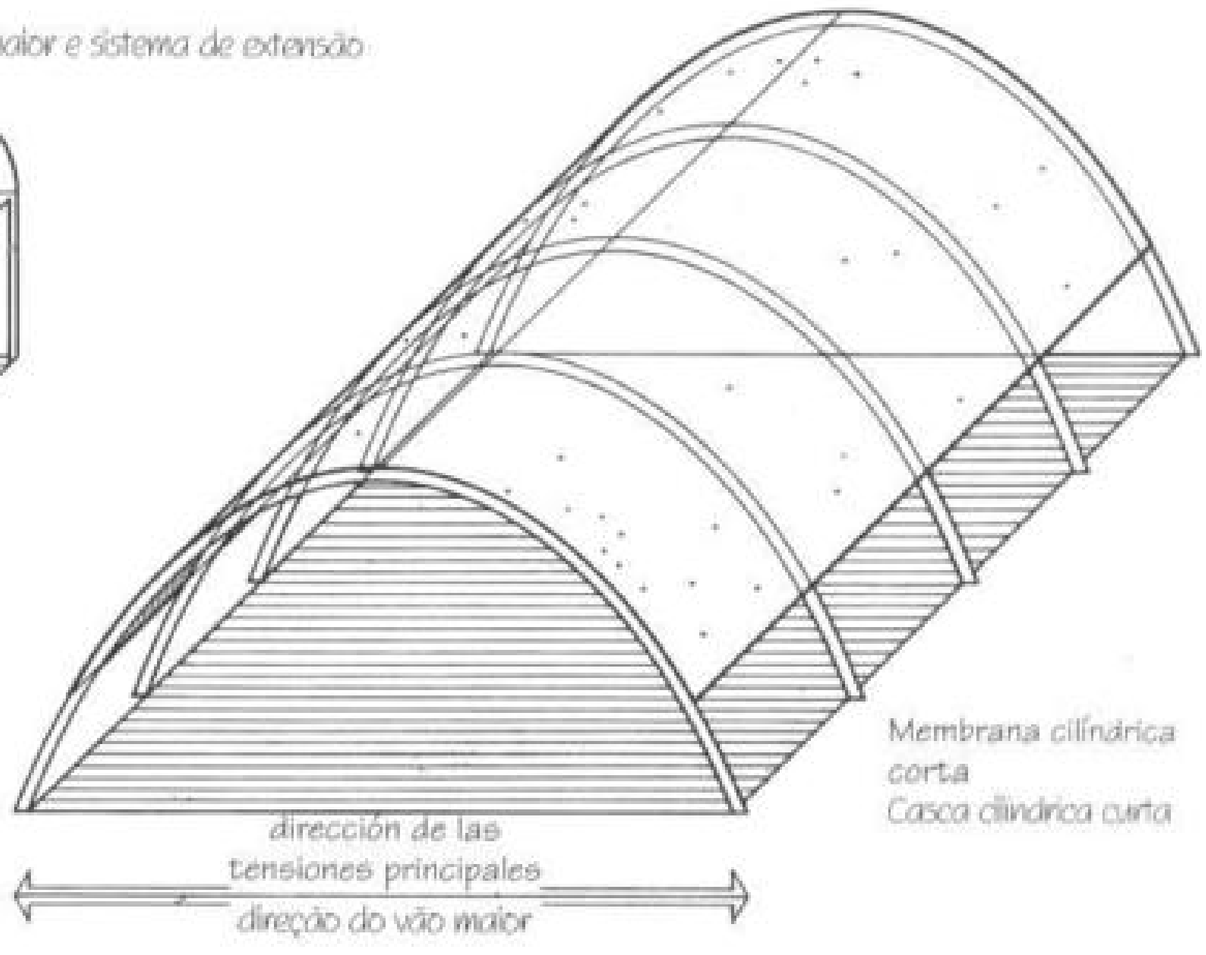
Membrana cilíndrica corta
Casca cilíndrica curta

## Diferencia entre membranas cilíndricas largas y cortas

## Diferença entre cascas cilíndricas longas e curtas

dirección de las tensiones principales y sistema de extensión / direção do vão maior e sistema de extensão

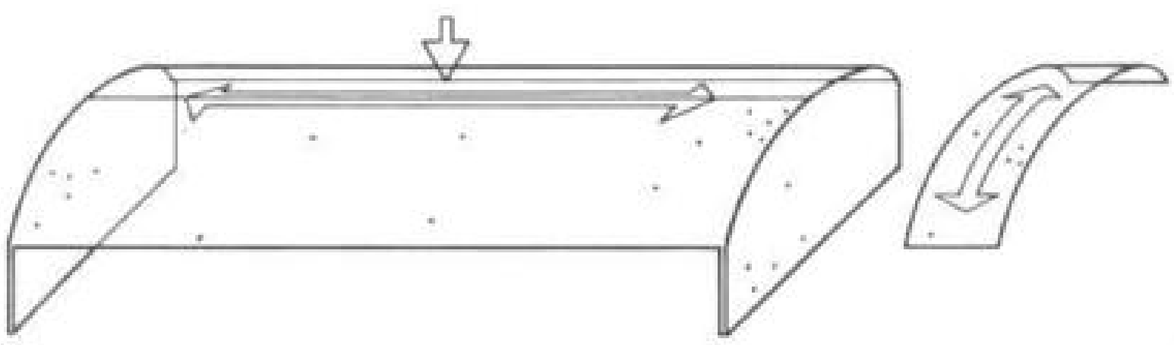



sistema de extensión: adición de nuevas unidades
sistema de extensão: multiplicação de novas unidades

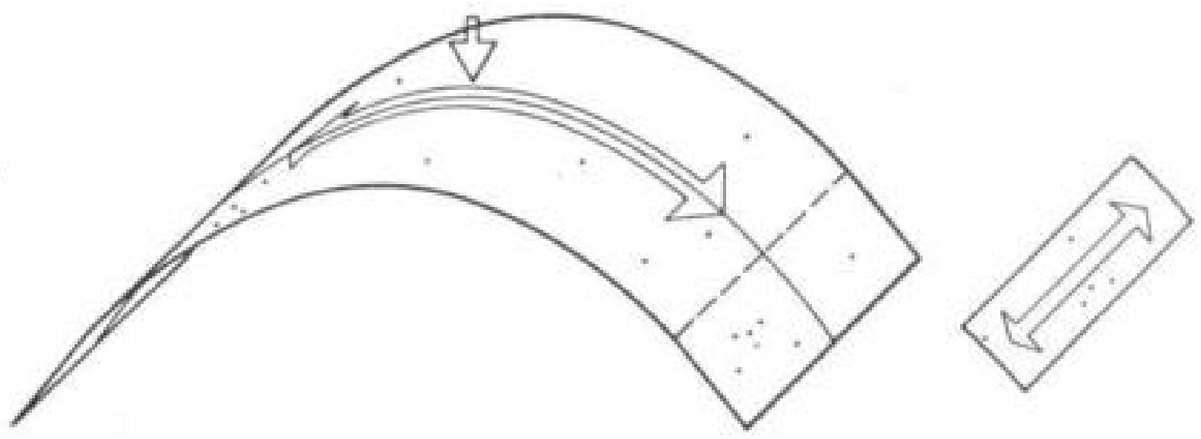
sistema de extensión: ampliación de la unidad existente
sistema de extensão: continuação da unidade existente

Mecanismo portante / Mecanismo portante



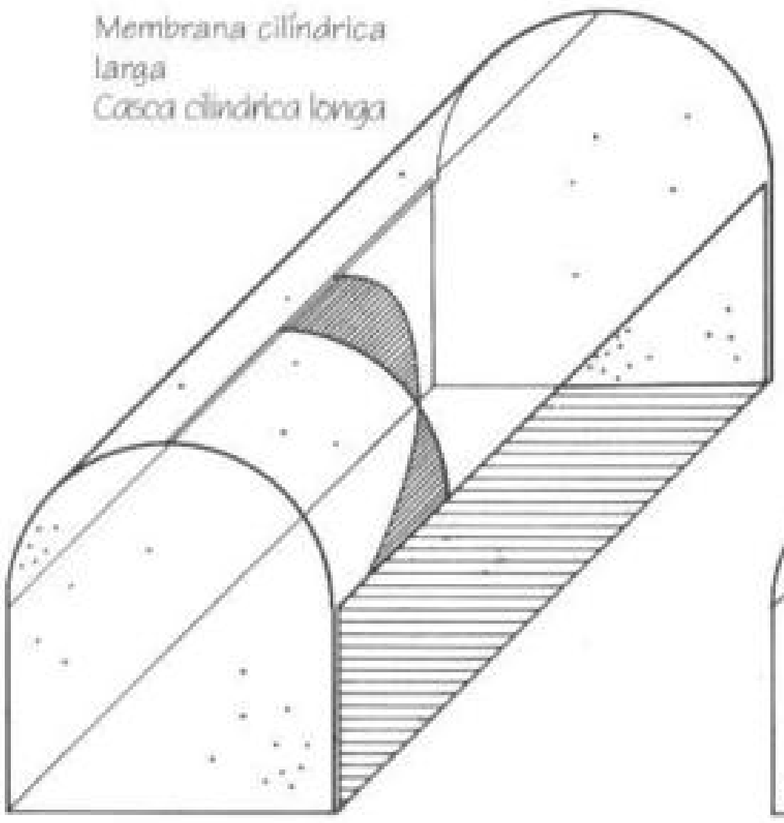
El mecanismo portante se basa, sobre todo, en la acción de lámina. La acción de arco (apoyo, suspensión) es secundaria y sirve para transmitir las cargas.

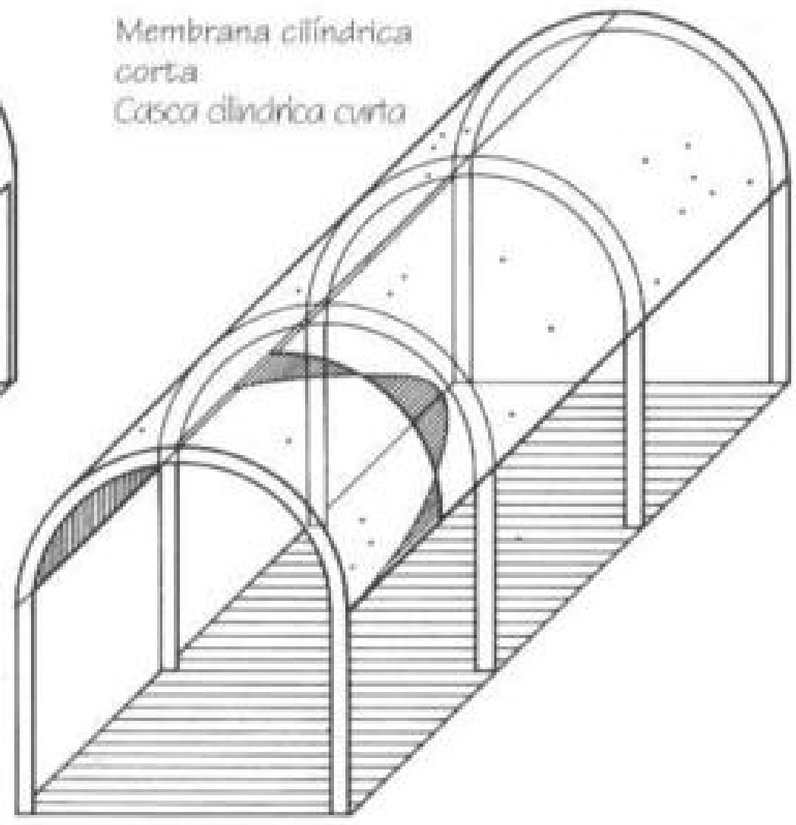
O mecanismo portante permanece principalmente no efeito de placa. O efeito de arco (ou efeito de suspensão) é menor e destina-se a receber cargas assimétricas.



El mecanismo portante se basa, sobre todo, en la acción de arco (por ello en forma de catenaria). La acción de lámina es secundaria y sirve para transmitir cargas.

O mecanismo portante permanece principalmente no efeito de arco (portanto, forma catenária). O efeito de placa é menor e destina-se a receber cargas assimétricas.



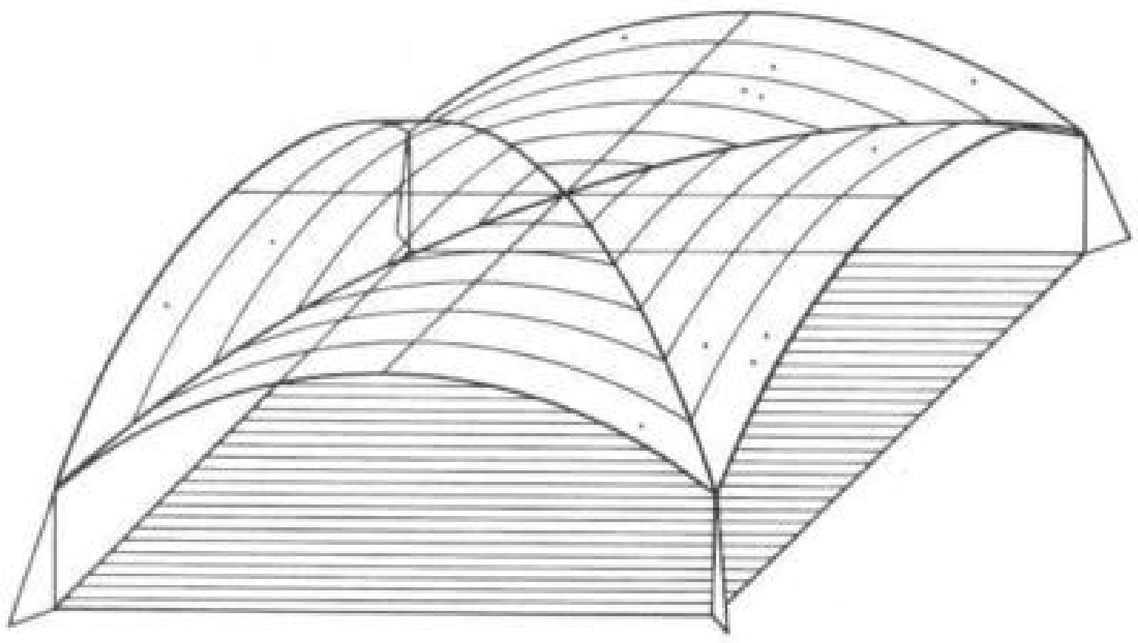




Cuanto más corto sea el cilindro, mayor es la influencia de la deformabilidad del perfil transversal y la proyección vertical de las tensiones longitudinales deja de ser rectilínea (como en una jácena), y pasar a ser curvilínea; en la zona superior de la membrana puede llegar a convertirse incluso en tracción.

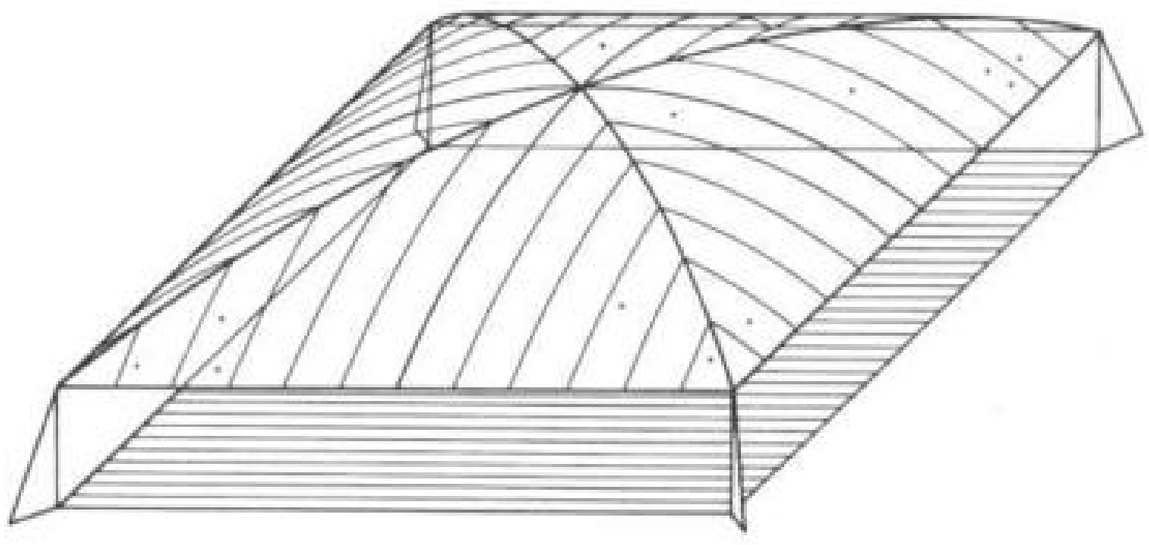
Quando o cilindro fica mais curto, a deformabilidade do perfil transversal torna-se mais influente, e a projeção vertical dos esforços longitudinais não é mais em linha reta (como numa viga), mas em curva, podendo mesmo converter-se em tração na área superior da casca.

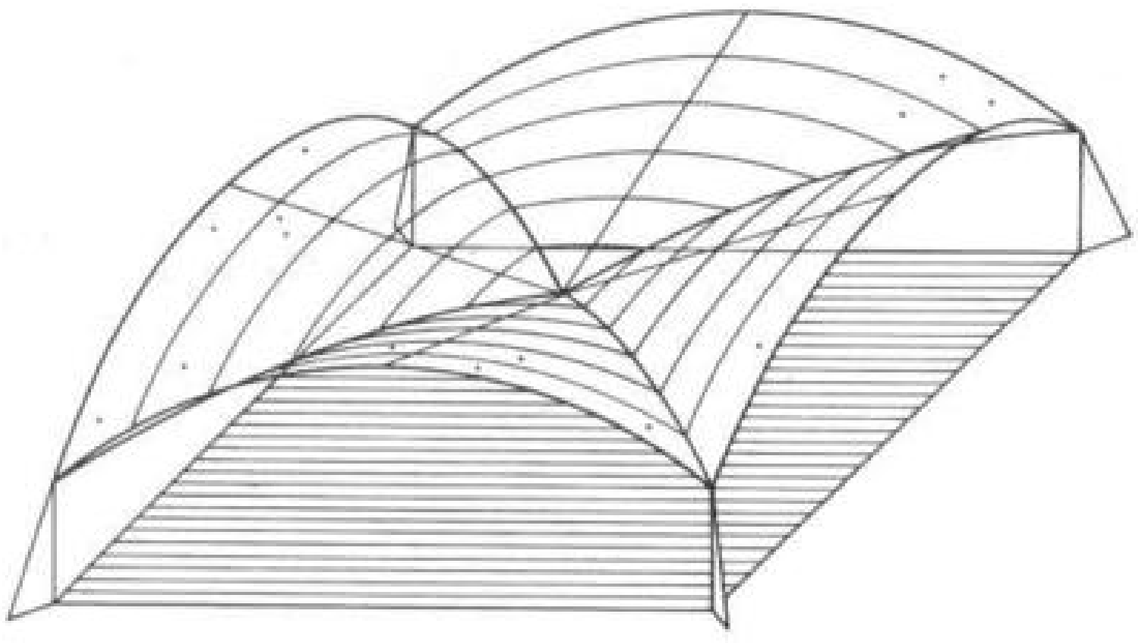
## Sistemas estructurales formados por la intersección de superficies cilíndricas

## Sistemas estruturais baseados na interseção de superfícies cilíndricas

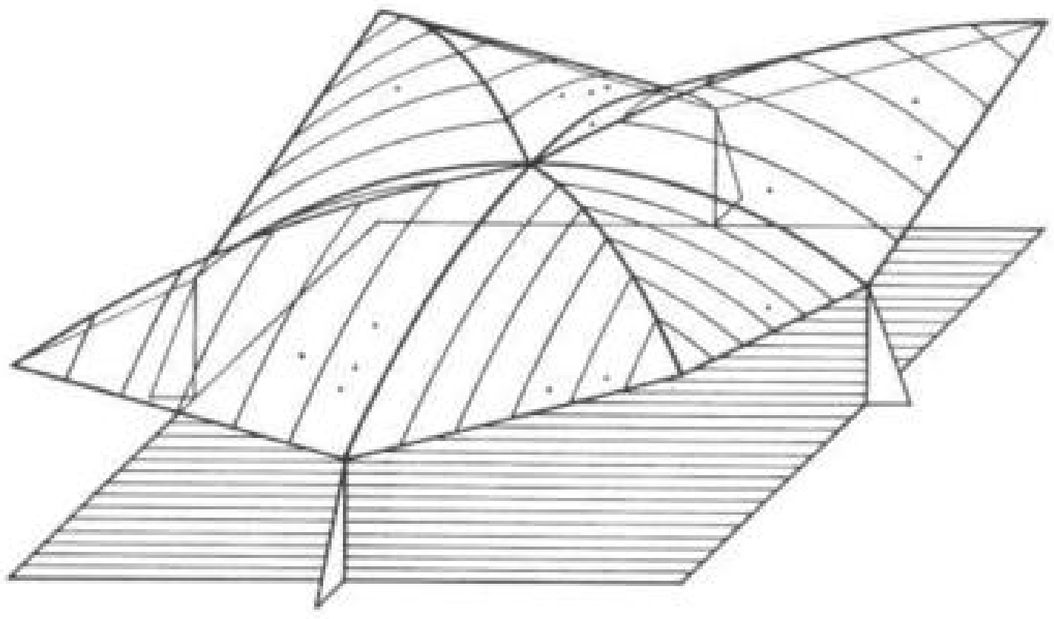


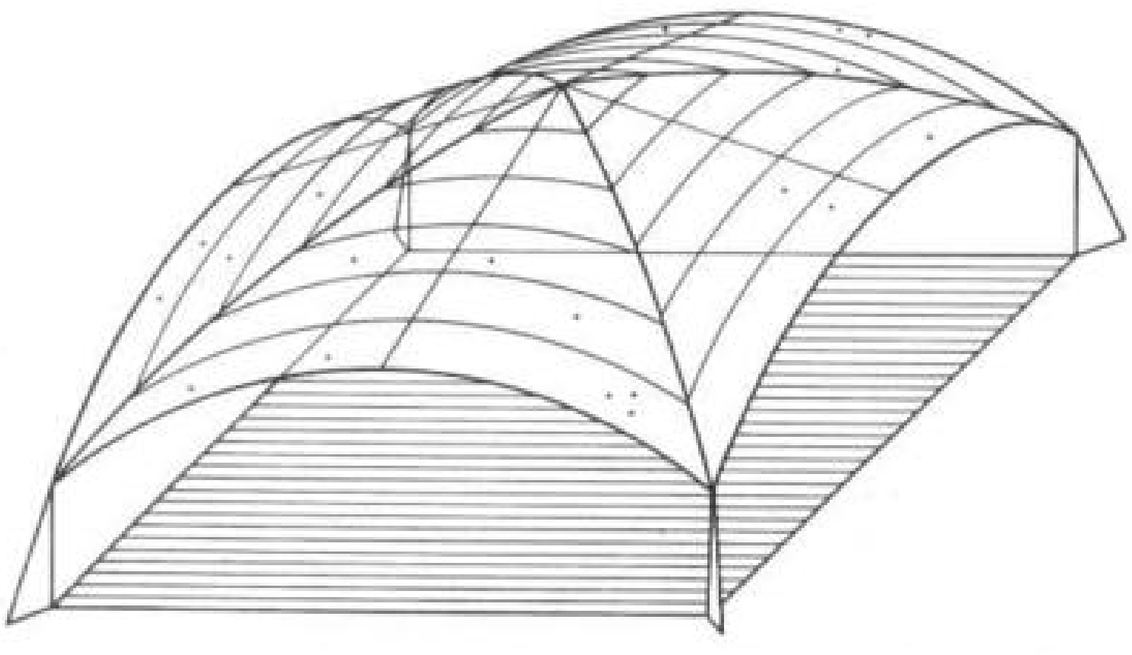
generatrices en un plano / *geratrizes em um plano*



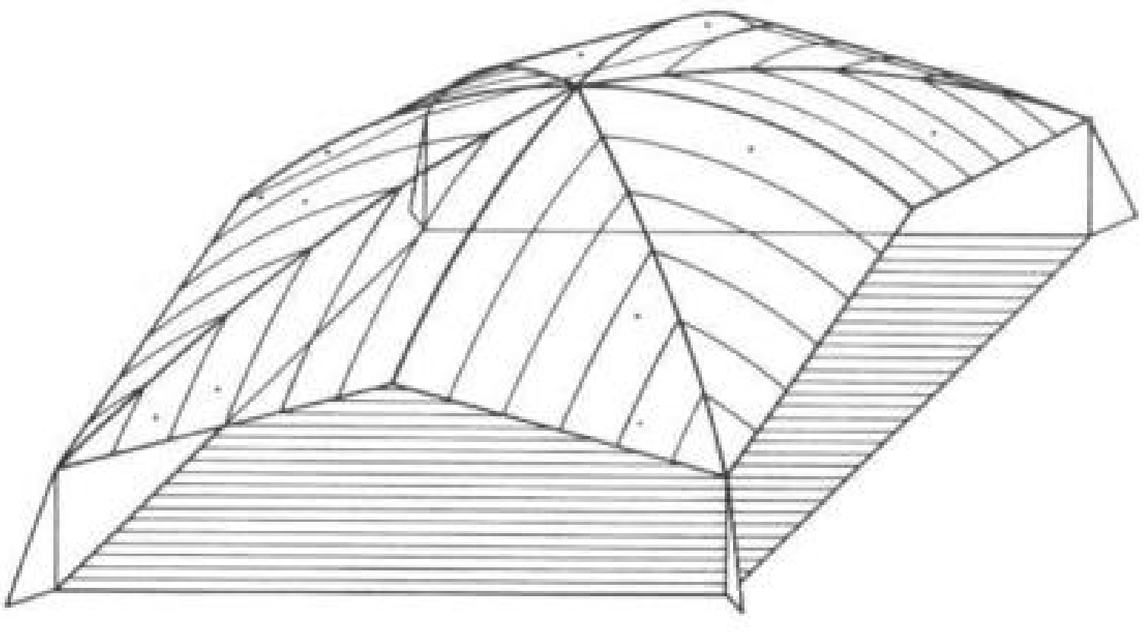


generatrices descendentes hacia el centro / *geratrizes rebaixadas em direção ao centro*



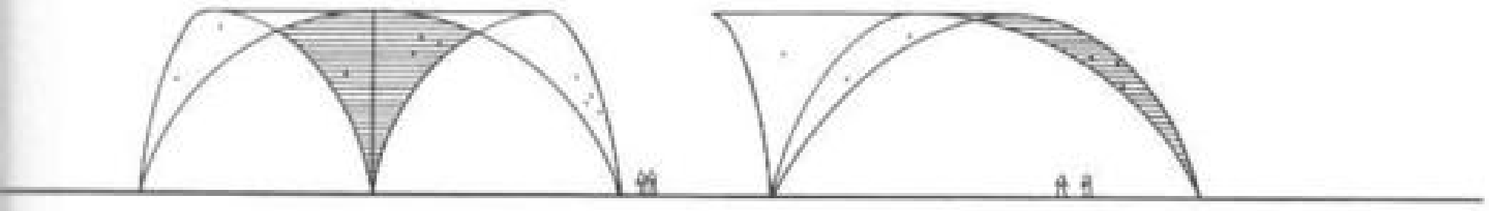


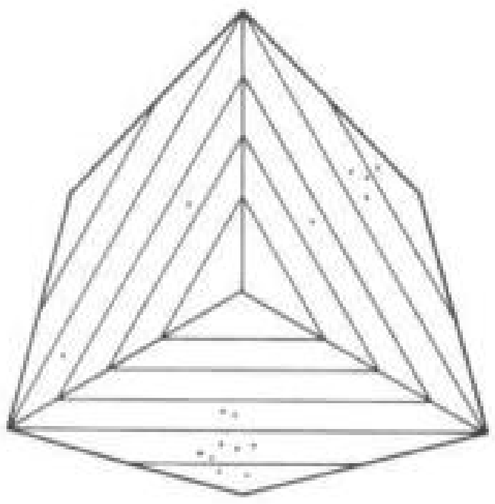
generatrices ascendentes hacia el centro / *geratrizes elevando-se em direção ao centro*



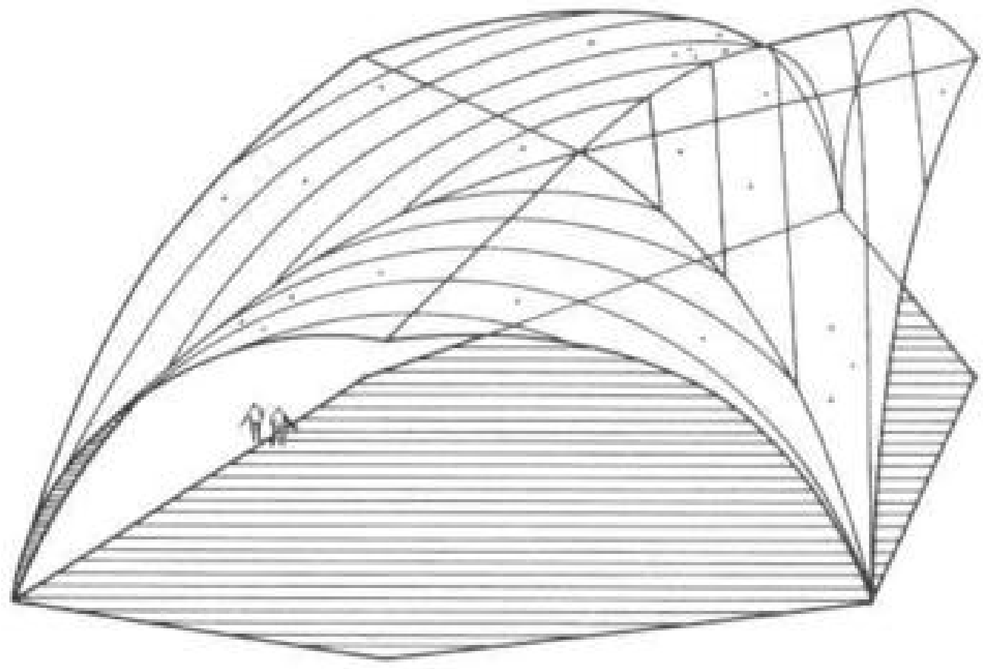
## Sistemas estructurales formados por la intersección de superficies cilíndricas

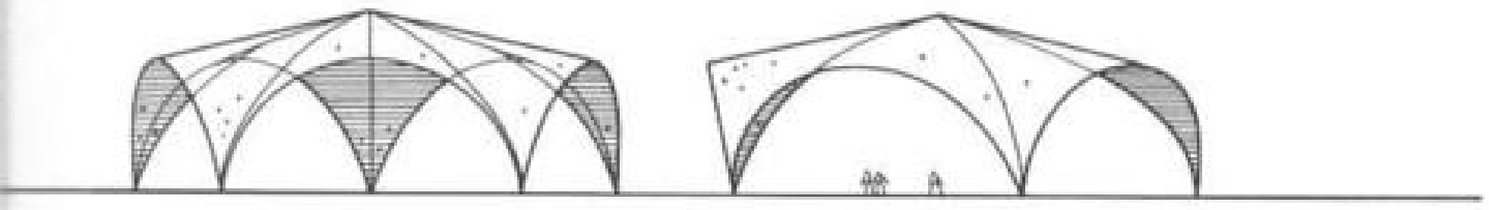
## Sistemas estruturais baseados na interseção de superficies cilíndricas

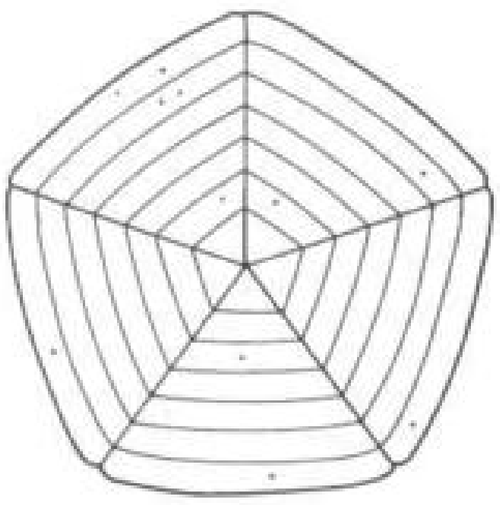




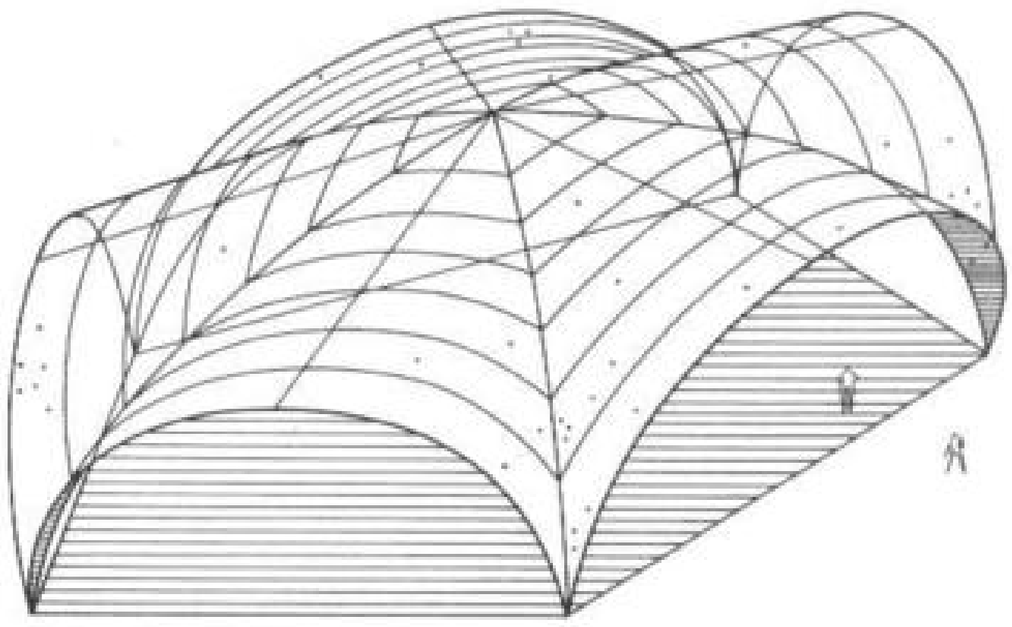
planta hexagonal con tres segmentos cilíndricos
*planta hexagonal com três segmentos cilíndricos*

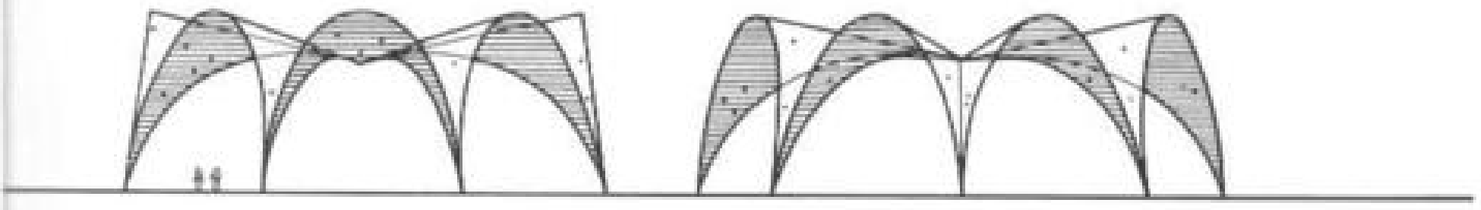


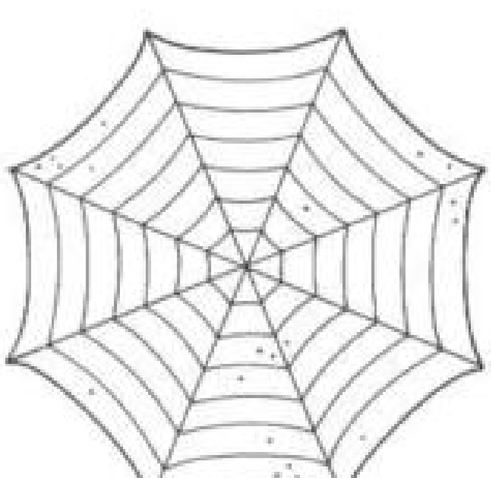




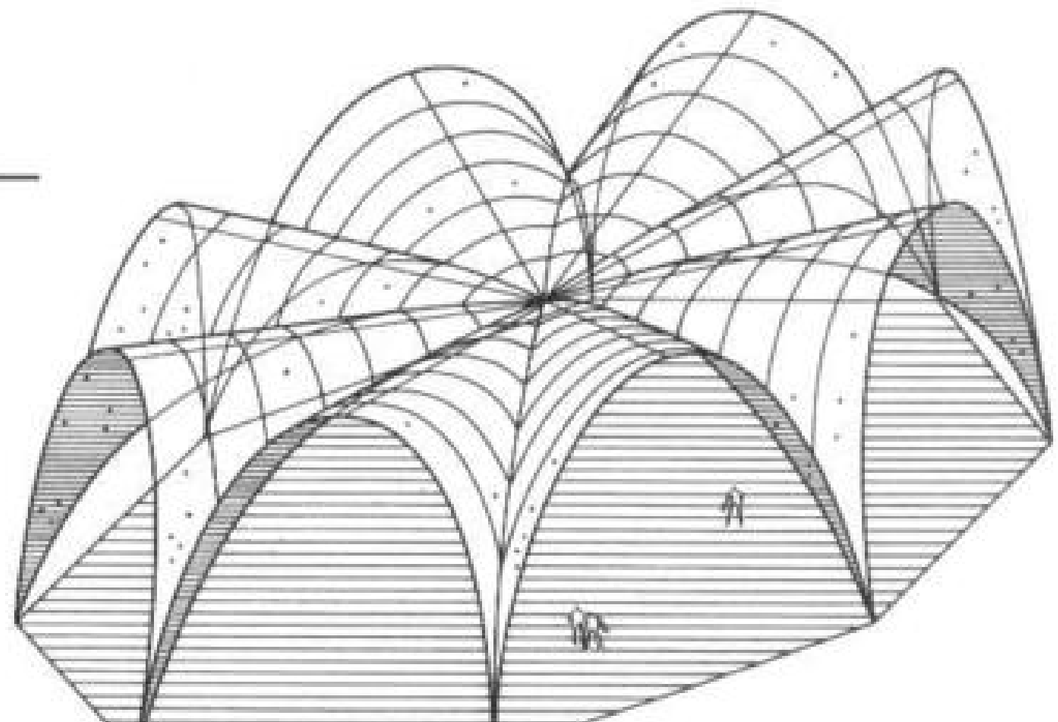
planta pentagonal con segmentos ascendentes hacia el centro
*planta pentagonal com segmentos elevando-se em direção ao centro*





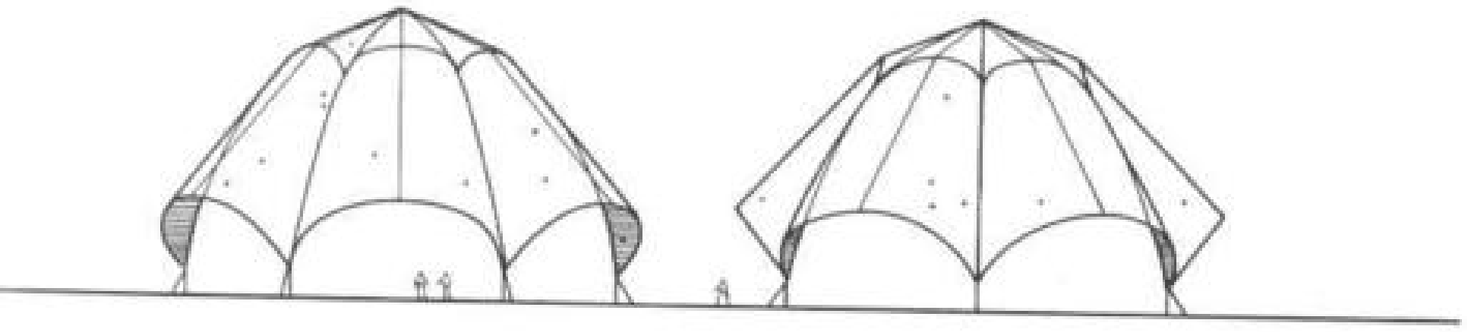


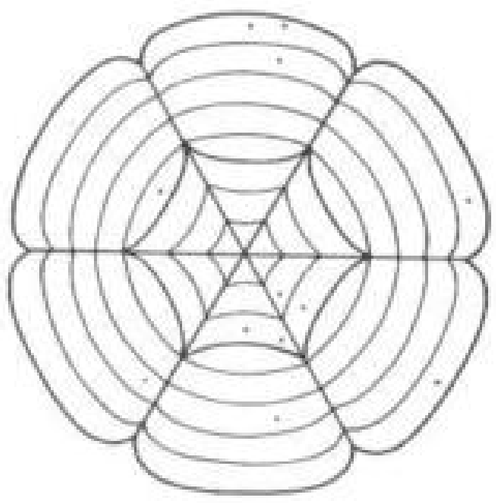
planta octogonal con segmentos descendentes hacia el centro
*planta octogonal com segmentos rebaixados em direção ao centro*



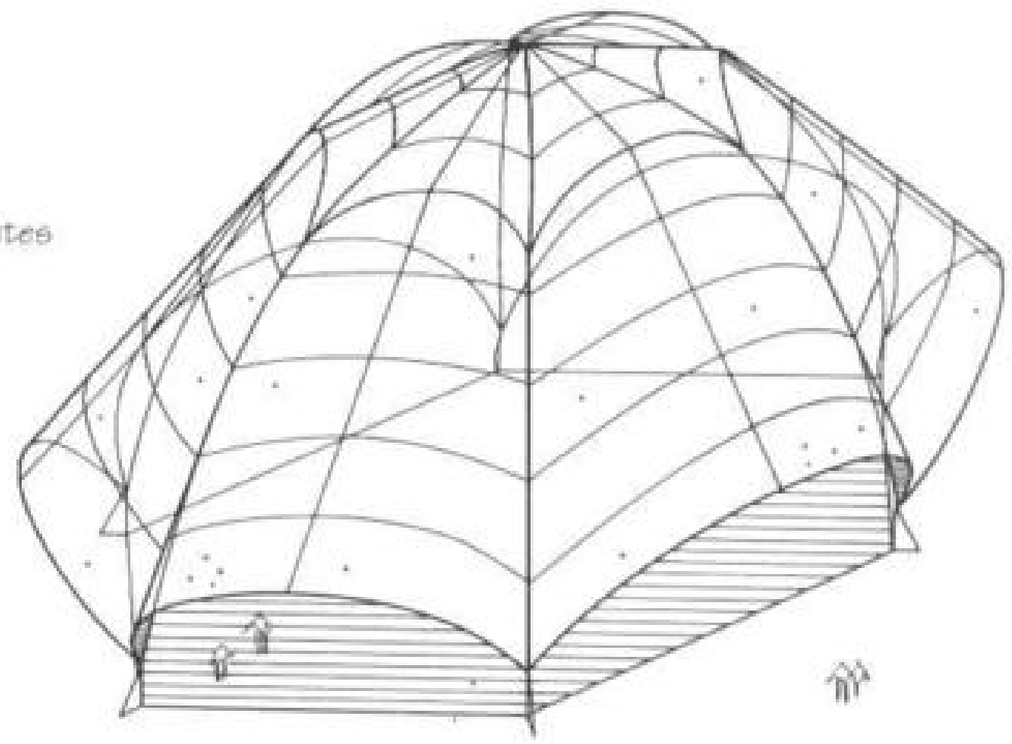
Sistemas estructurales formados por la intersección de superficies cilíndricas plegadas

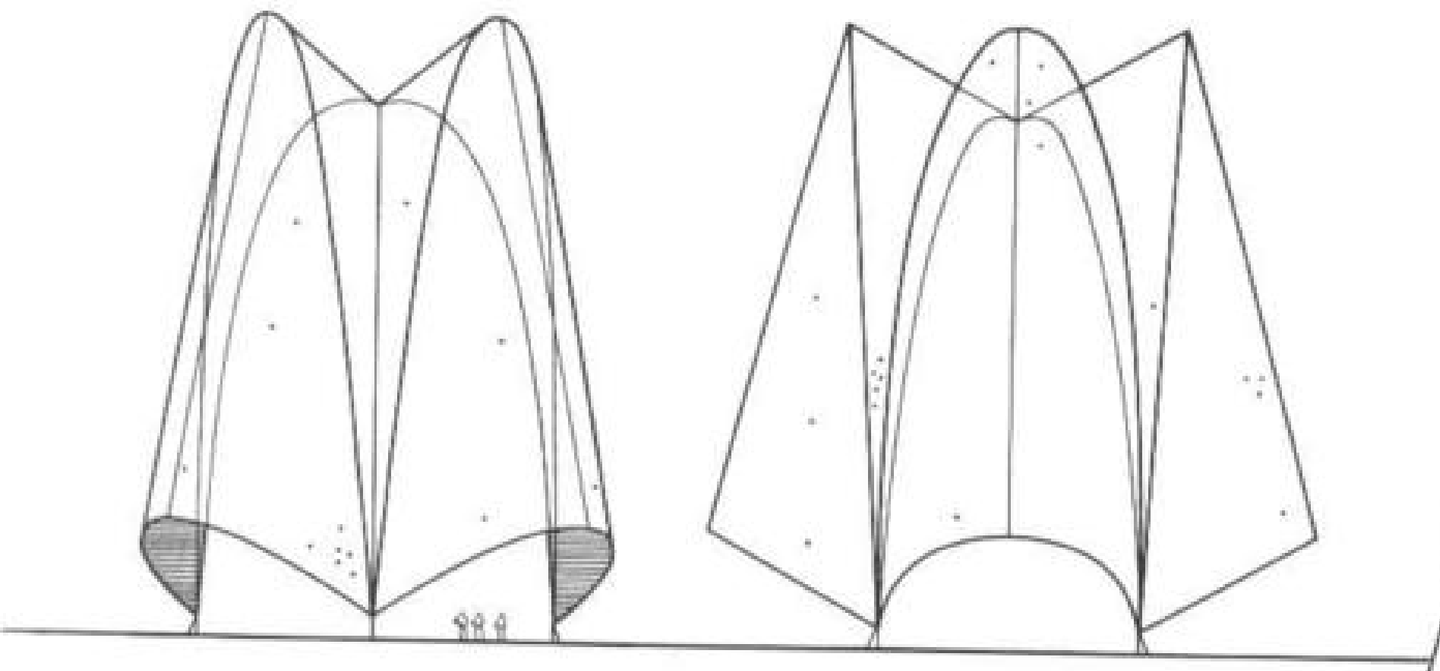
Sistemas estruturais baseados na interseção de superfícies dobradas cilíndricas

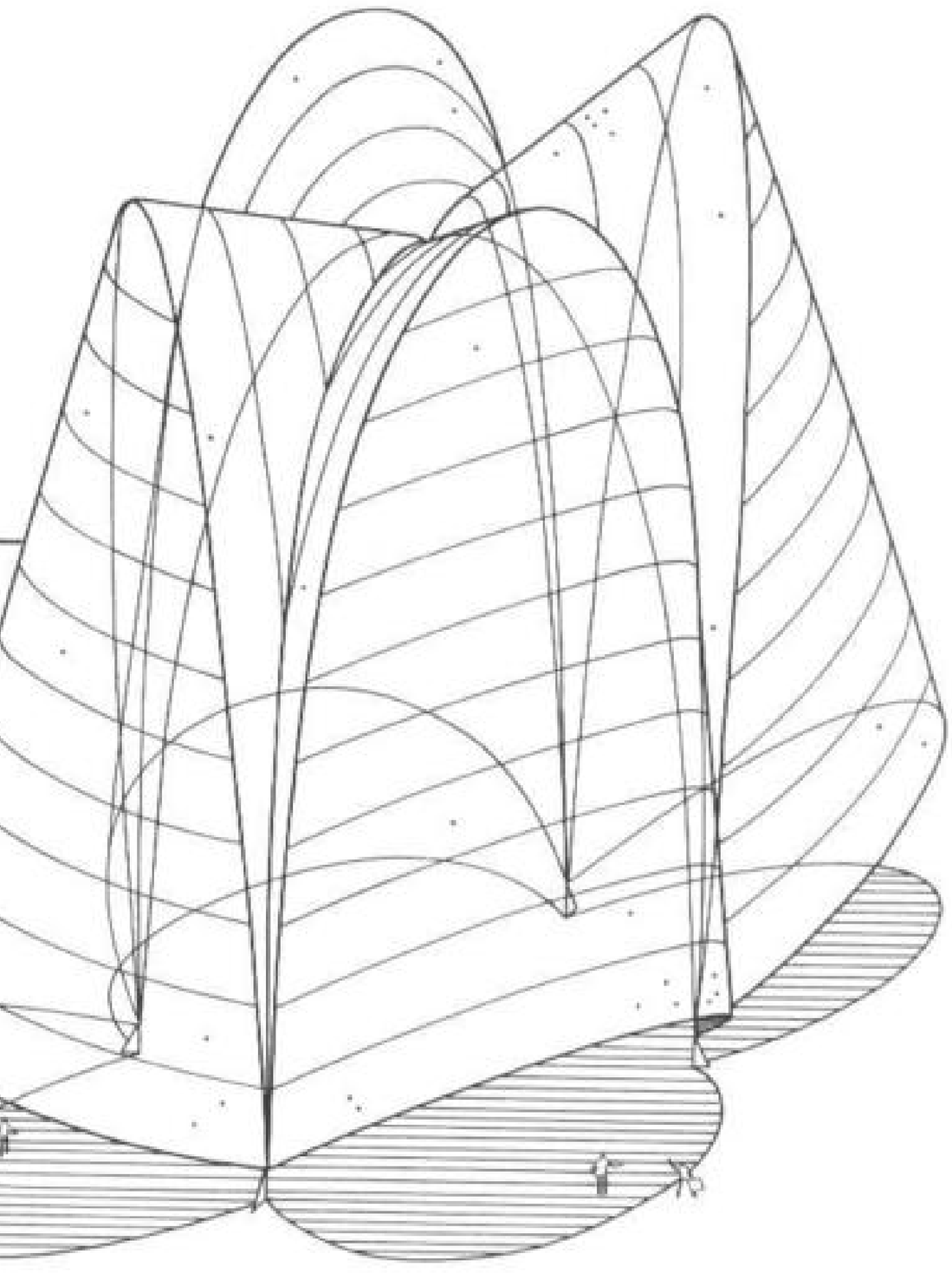


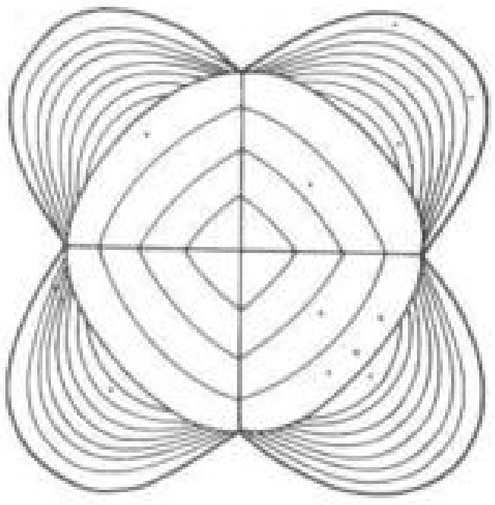


planta hexagonal con segmentos cilíndricos ascendentes
planta hexagonal: segmentos de cilindros ascendentes









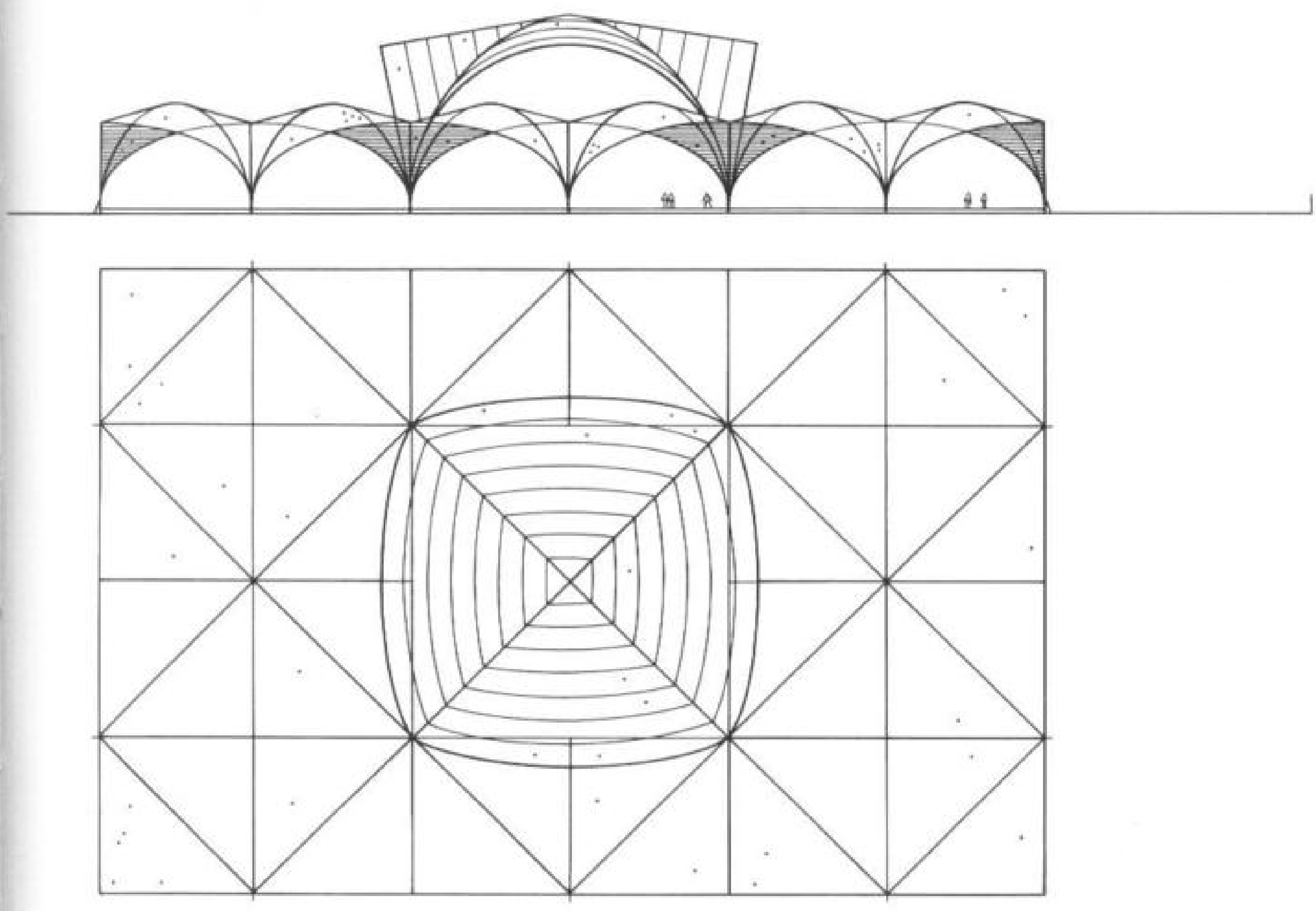
planta en cruz: segmentos verticales
planta em forma de cruz: segmentos verticais

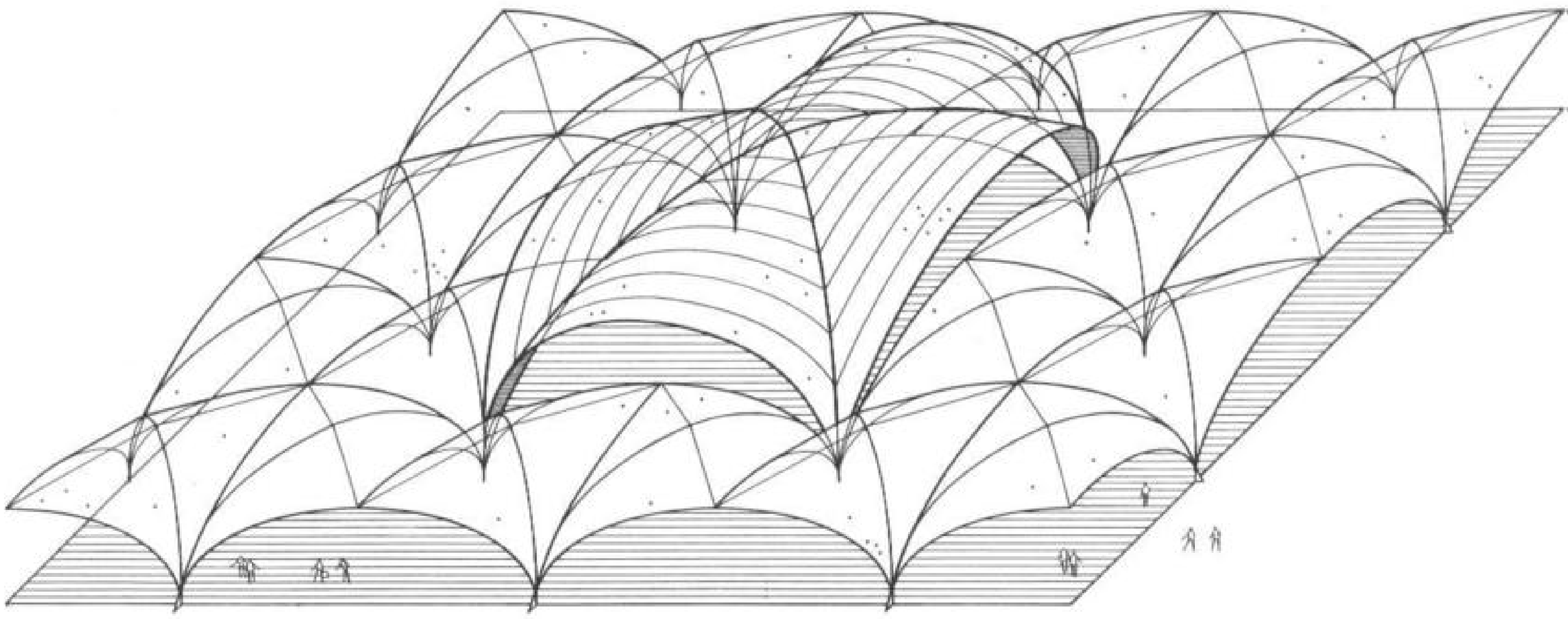
## Sistema estructural formado por la intersección de superficies cilíndricas plegadas

*composición de superficies cilíndricas entrecruzadas sobre una retícula cuadrada*

## Sistemas estruturais baseados na interseção de superfícies dobradas cilíndricas

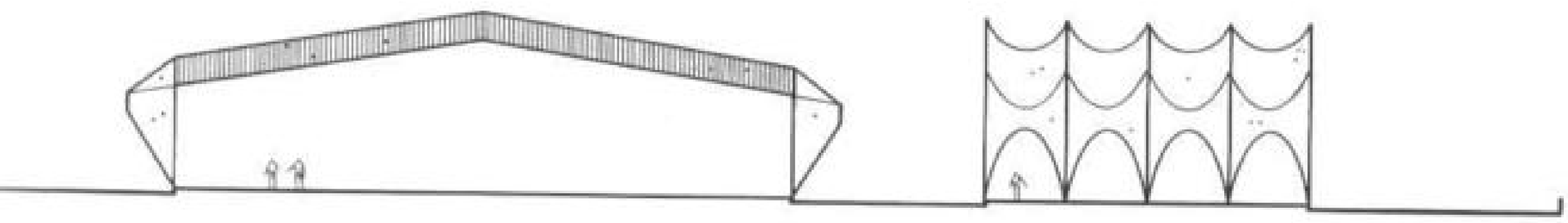
*composição de superfícies cilíndricas que se cruzam diagonalmente sobre uma planta de malha quadrada*

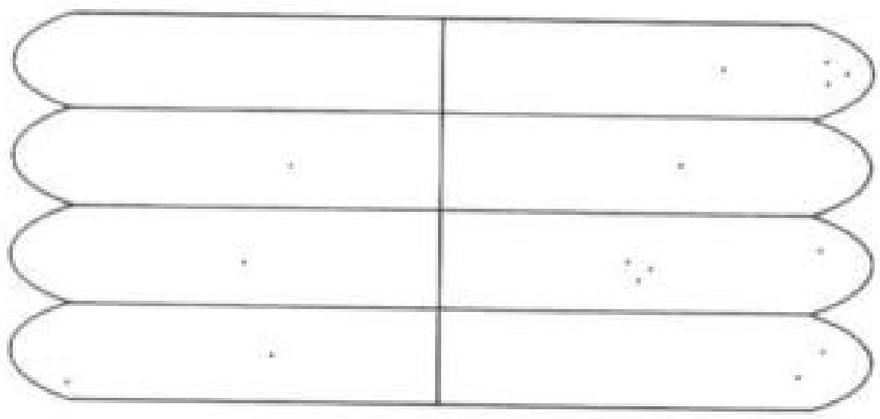




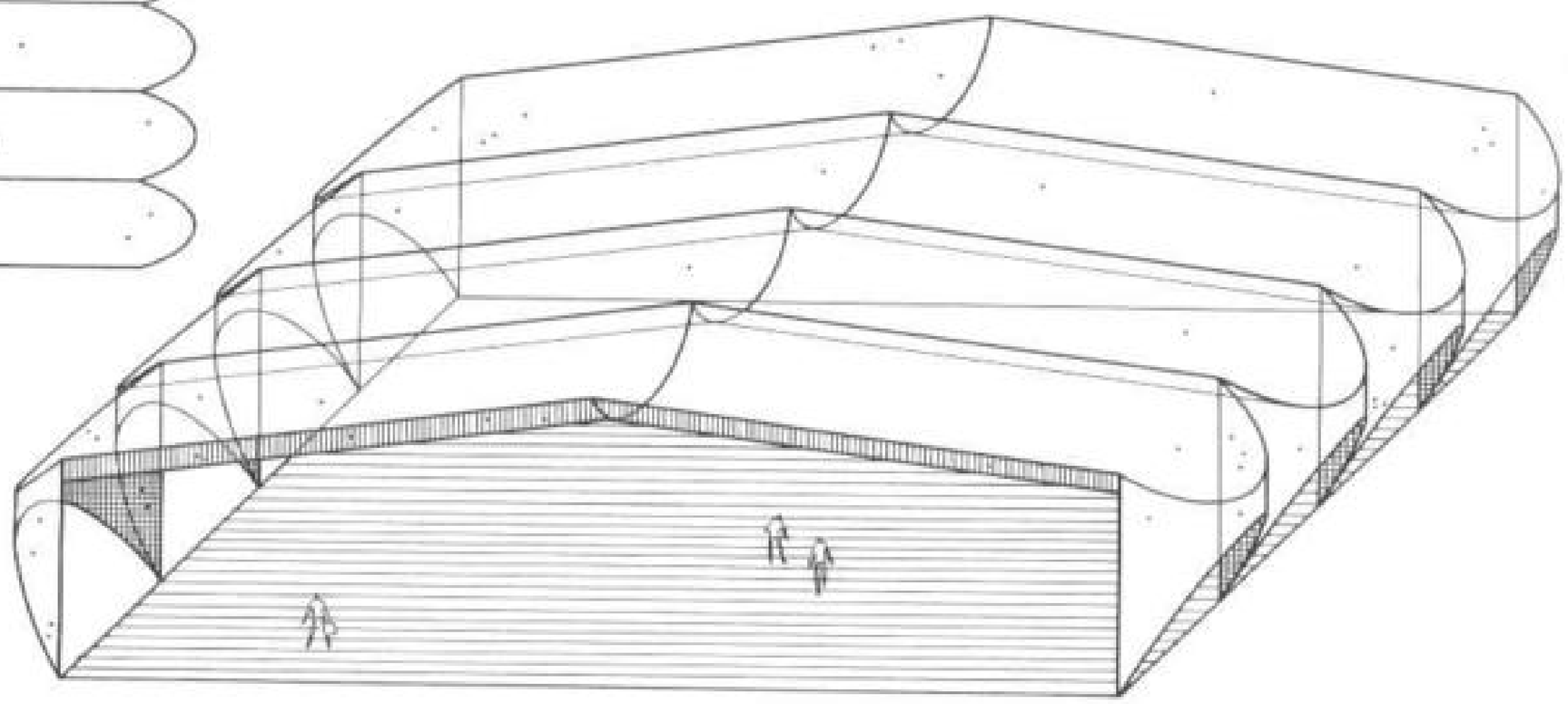
Sistemas estructurales lineales formados por superficies cilíndricas plegadas

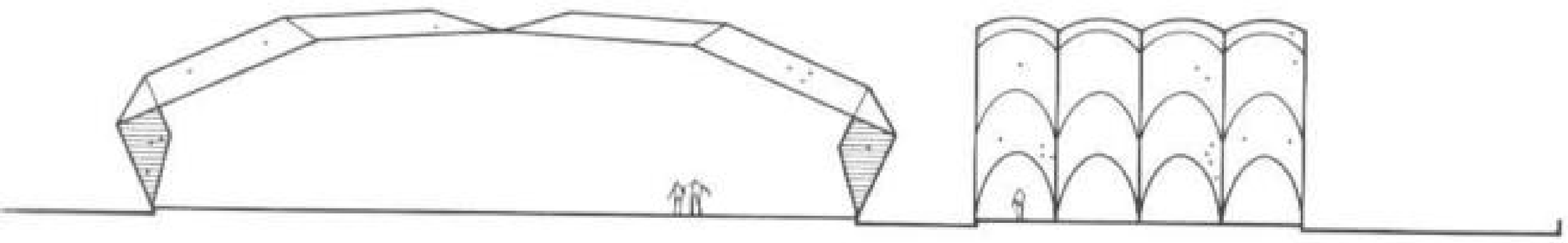
Sistemas estruturais lineares compostos de superficies dobradas cilindricas

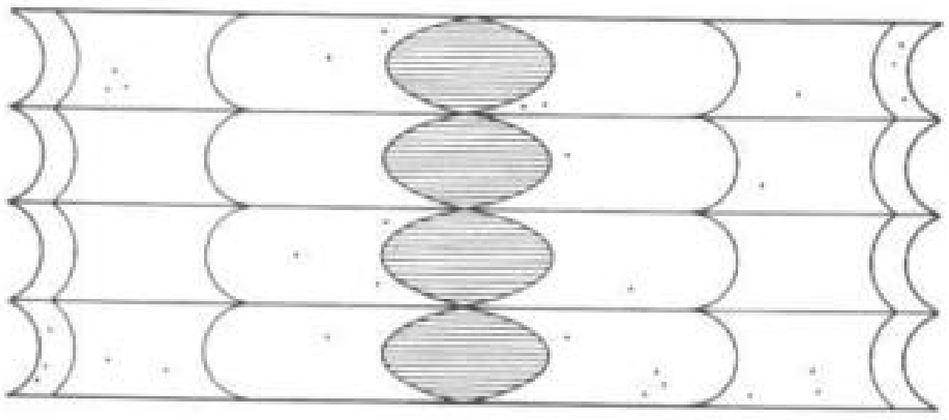




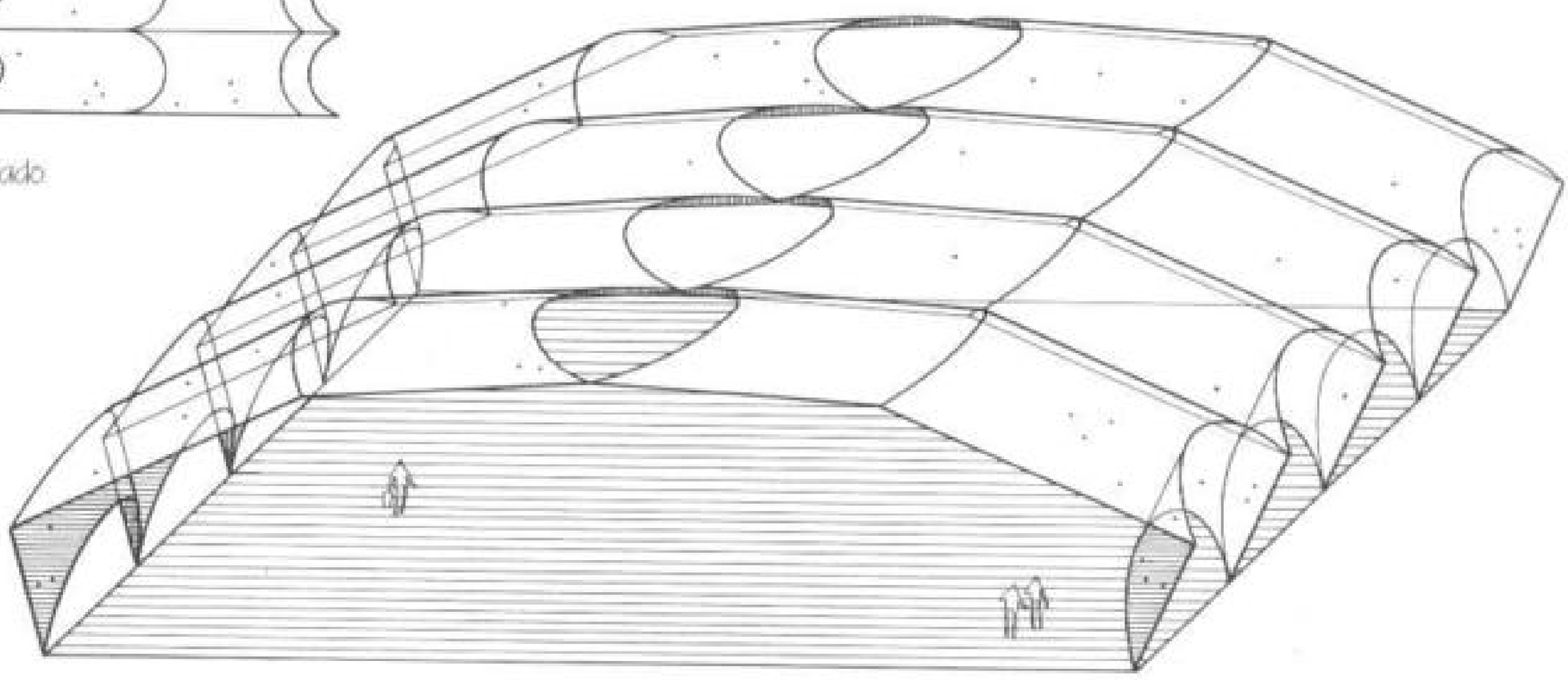
Pórtico biarticulado / Pórtico biarticulado





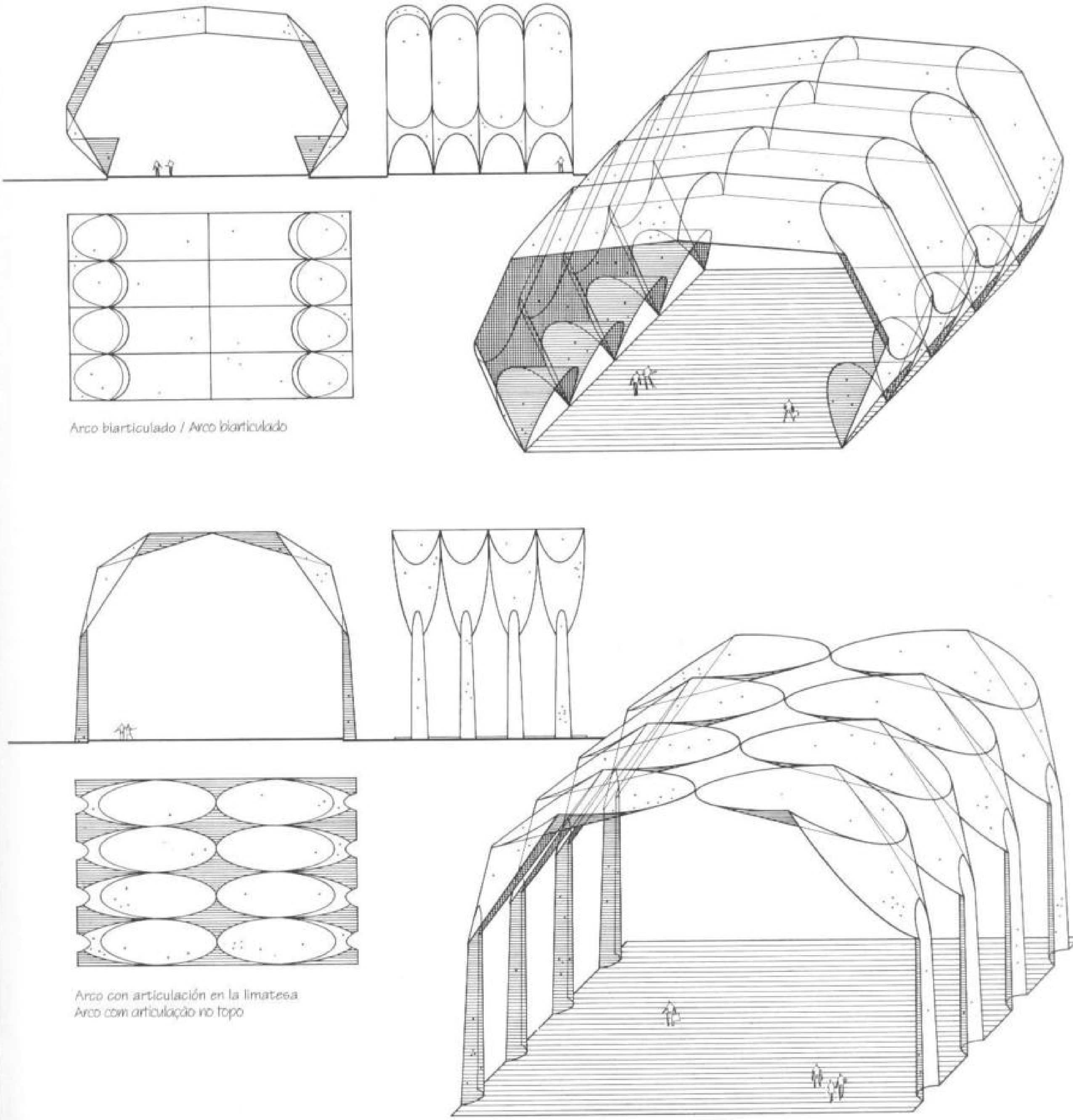


Pórtico triarticulado / Pórtico triarticulado



## Sistemas estructurales lineales formados por superficies cilíndricas plegadas

## Sistemas estruturais lineares compostos de superficies dobradas cilíndricas



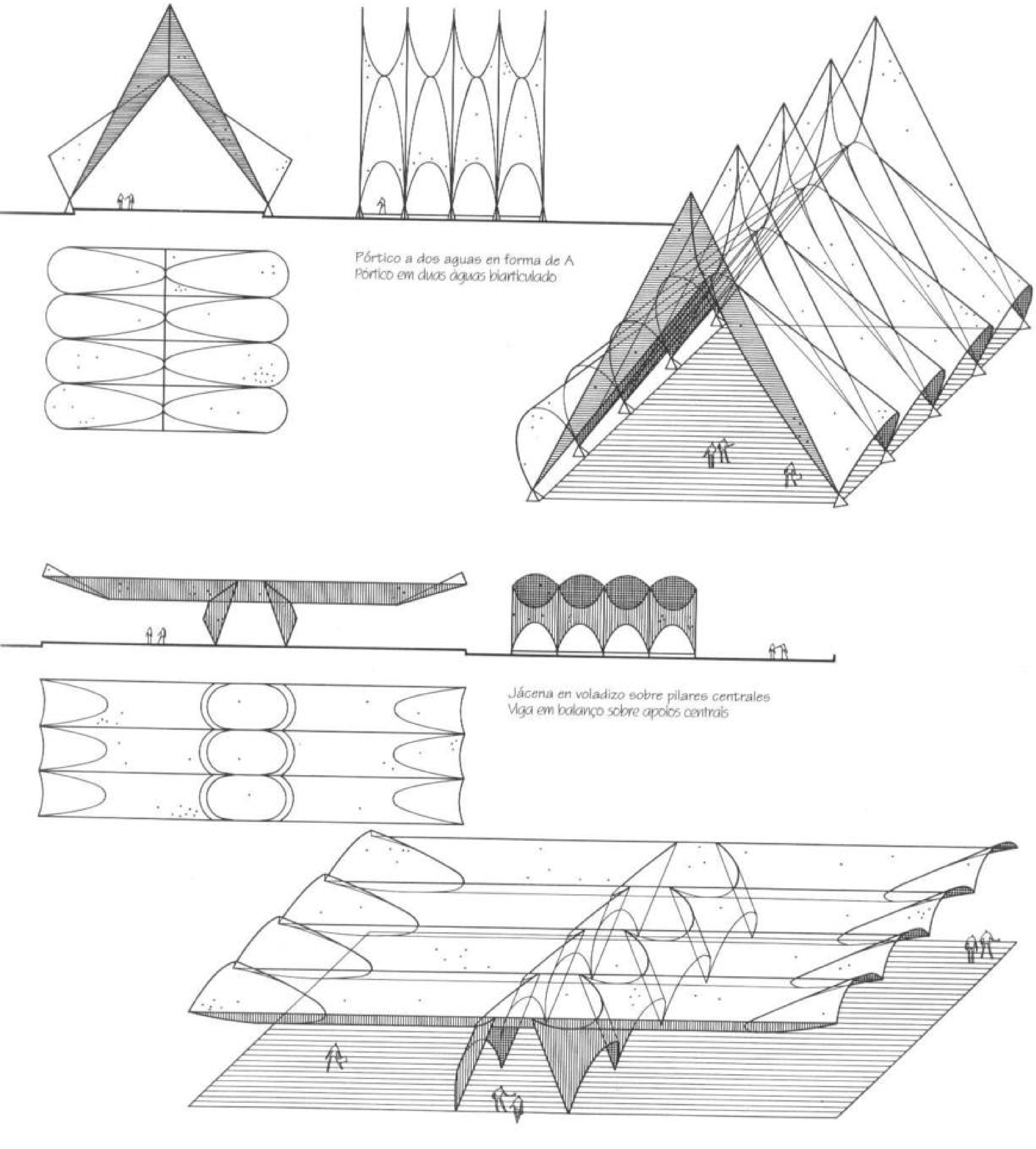
Arco biarticulado / Arco biarticulado



Arco con articulación en la limatesa
Arco com articulação no topo

Sistemas estructurales lineales formados por superficies cilíndricas plegadas

Sistemas estruturais lineares compostos de superfícies dobradas cilíndricas



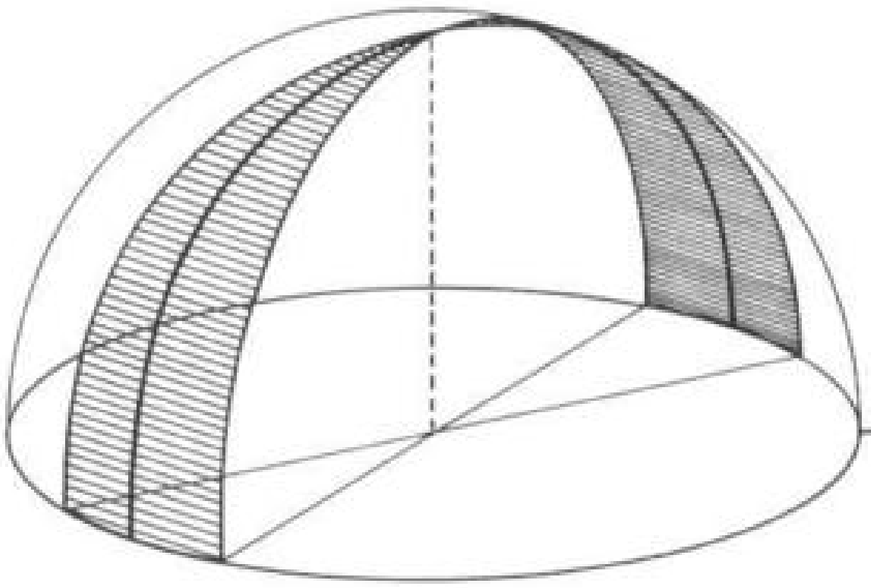
Pórtico a dos aguas en forma de A
Pórtico em duas águas biarticulado



Jácena en voladizo sobre pilares centrales
Viga em balanço sobre apoios centrais

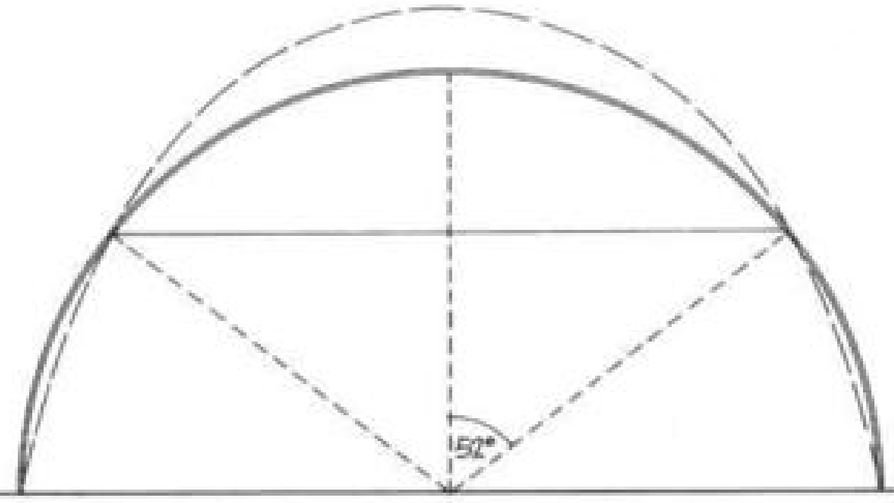
## Mecanismo portante de la membrana en cúpula (de rotación)

## Mecanismo portante de casca esférica (rotativa)



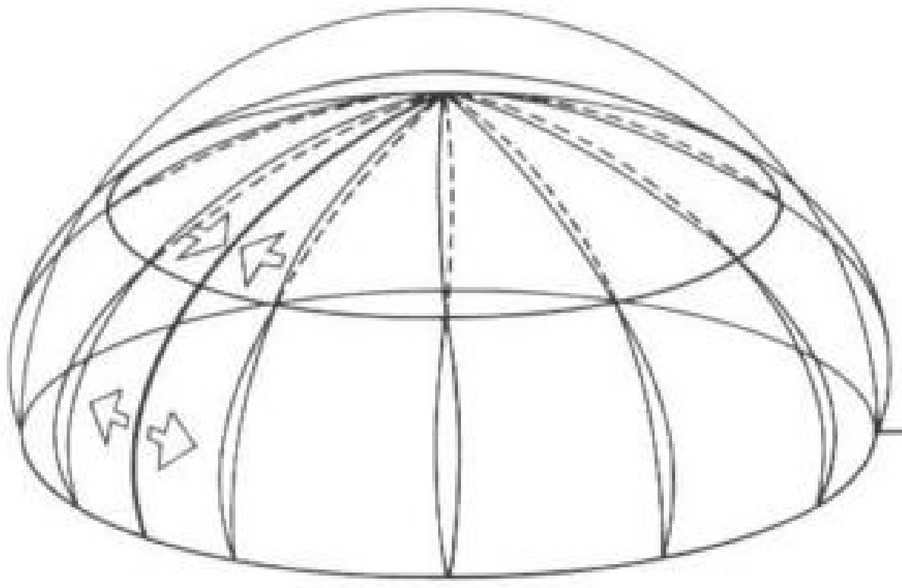
división en segmentos

divisão em segmentos



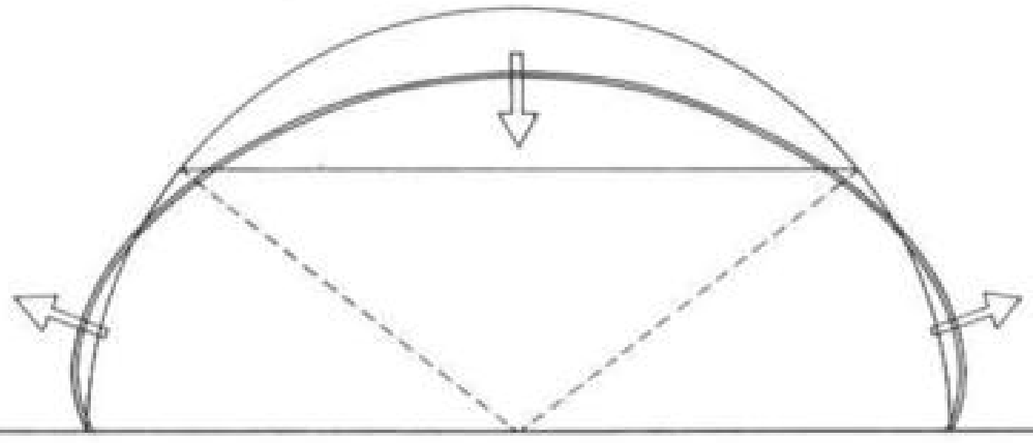

La curvatura transversal de dos segmentos opuestos no coincide con la catenaria. La diferencia se pone de relieve a la altura de 52° medidos desde la cumbrera.

A curvatura do arco formado por dois segmentos opostos difere de sua linha de pressão real. A diferença muda de sinal a 52° de elevação, contados a partir do topo.



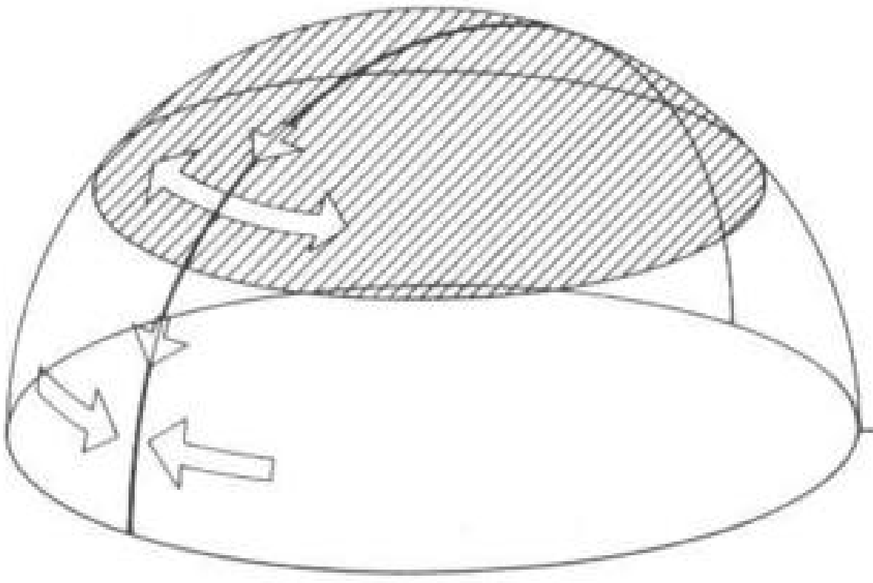
deformación de los segmentos

deflexão de segmentos



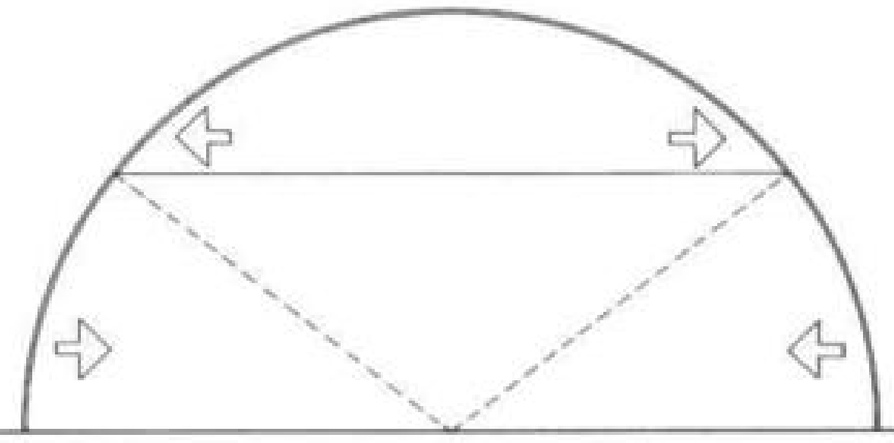
Las partes superiores de los segmentos descienden y se solapan con sus cantos al disminuir la curvatura. Las partes inferiores se deforman hacia el exterior y se abren cuanto mayor sea la curvatura.

As partes superiores dos segmentos formam flecha e saltam pelas bordas, reduzindo sua curvatura. As partes inferiores deformam-se em direção ao exterior e abrem-se, aumentando sua curvatura.



efecto de la forma anular

efeito anular



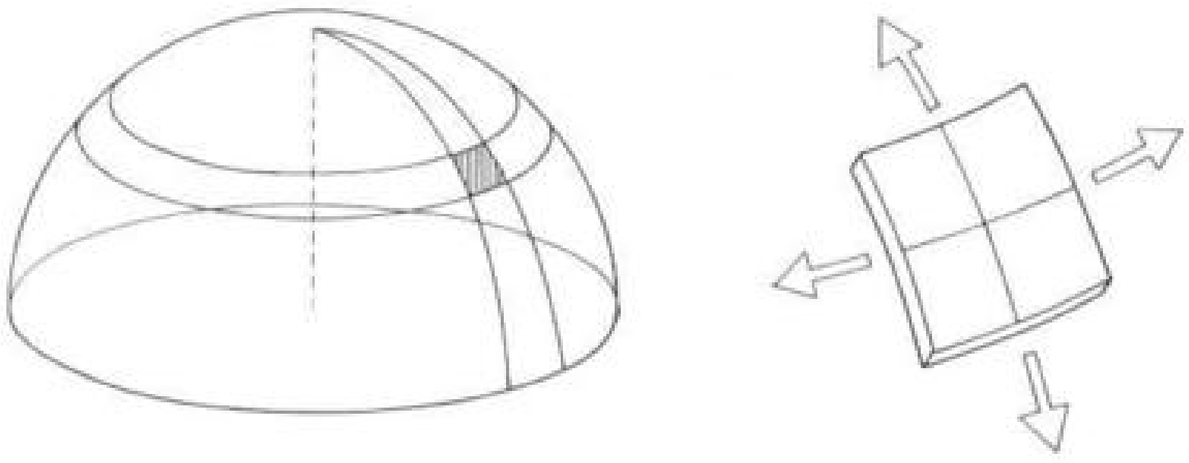
La capacidad de la membrana en cúpula para generar esfuerzos anulares evita que se deforme hacia el interior o el exterior a causa de la desviación de la catenaria meridional. Esta capacidad también permite perfiles transversales para membranas de rotación que no sean circulares.

La continuidad horizontal (anular) se opone a la deformación; la parte superior se comporta como una secuencia de anillos comprimidos y la parte inferior como una secuencia de anillos a tracción.

A continuidade horizontal (anel) resiste à deflexão, enquanto a parte superior atua como uma série de anéis de compressão horizontal, e a parte inferior como uma série de anéis de tração.

O potencial da casca esférica para desenvolver forças anulares impede a deflexão, tanto para dentro quanto para fora da membrana, causada pelo desvio da linha de pressão meridional. Esse potencial permite, então, adotar também perfis transversais em cascas rotativas que não são circulares.

Esfuerzos de membrana en membranas de rotación bajo una carga simétrica

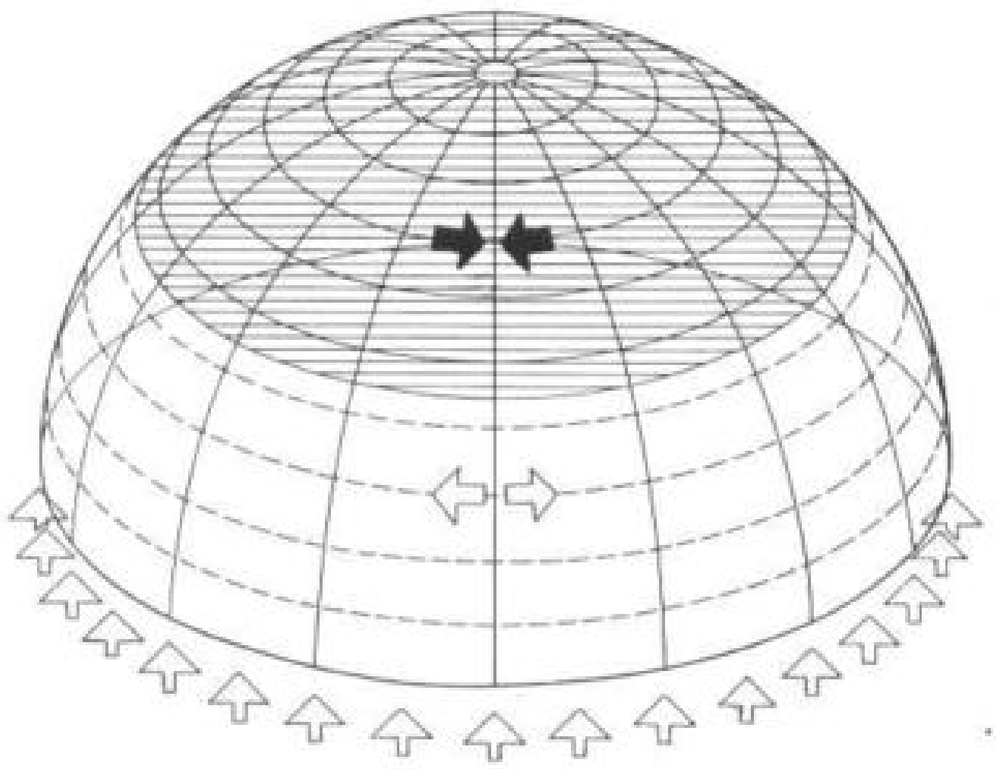


Cada elemento de membrana aislado alcanza un estado de equilibrio a través del esfuerzo meridional y el esfuerzo anular. Debido a la simetría de la carga, no se originan esfuerzos cortantes en ninguna sección.

Forças de membrana em cascas rotativas sob carga simétrica

O elemento de casca mantém-se em equilíbrio unicamente pela força meridional e pela força anular. Em virtude da carga simétrica, não se desenvolve esforço cortante em nenhuma seção da casca.

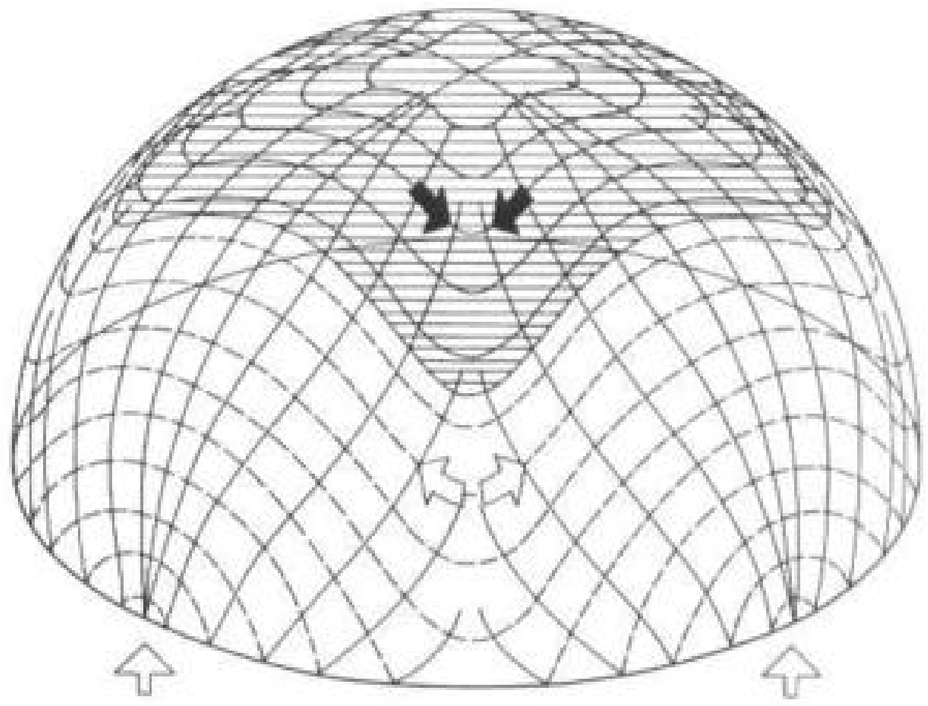
Transmisión de cargas en membranas en forma de cúpula bajo una carga simétrica

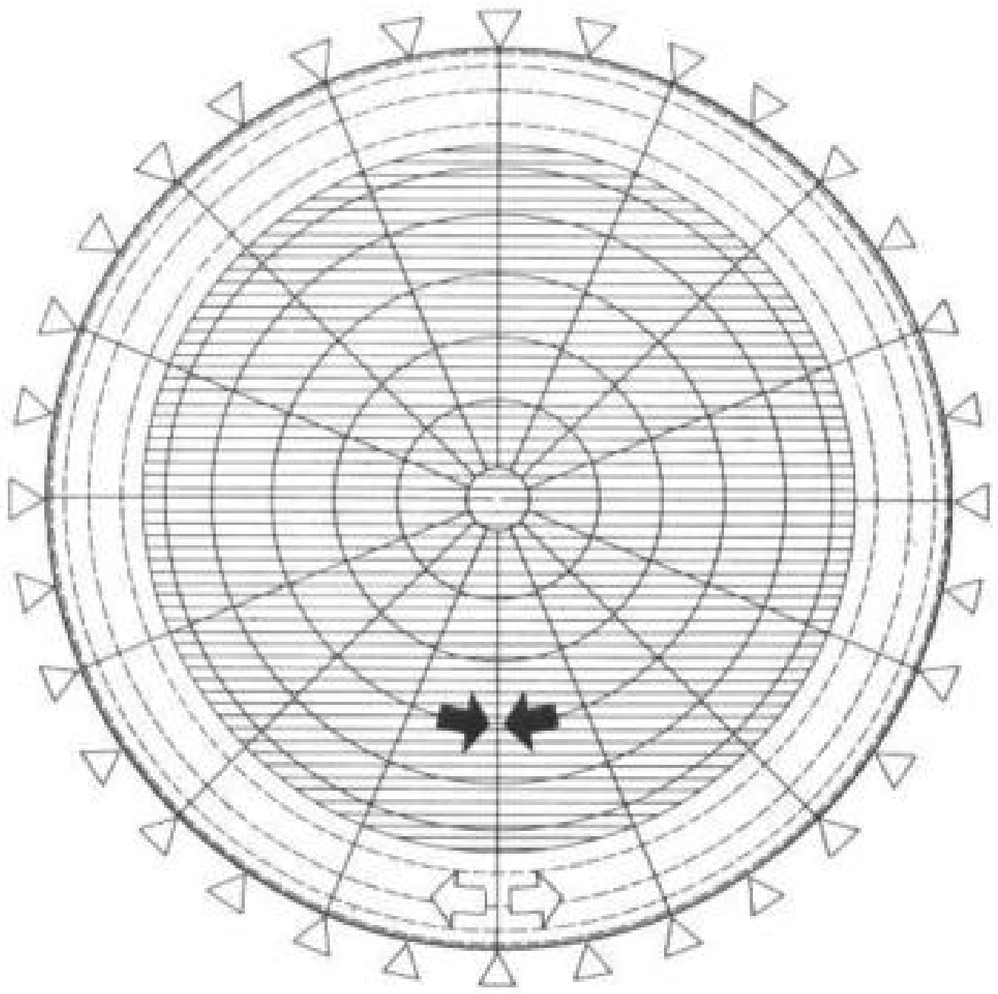


Los esfuerzos se transmiten según la dirección de los meridianos y los paralelos

As forças seguem a direção dos meridianos e paralelos

Linhas de esforços principais nas cascas esféricas sob carga simétrica



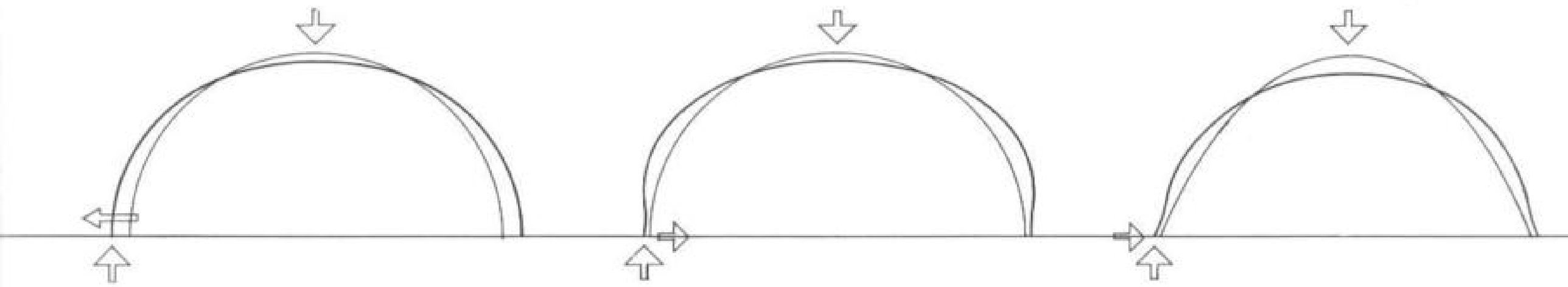


La dirección de los esfuerzos meridionales y anulares se modifican igual que si estuvieran sometidos a un campo magnético

As direções das forças meridional e anular são defletidas como em um campo magnético

## Flexión del borde inferior de la membrana: perturbaciones de borde

## Flexão da borda inferior: perturbações de borda

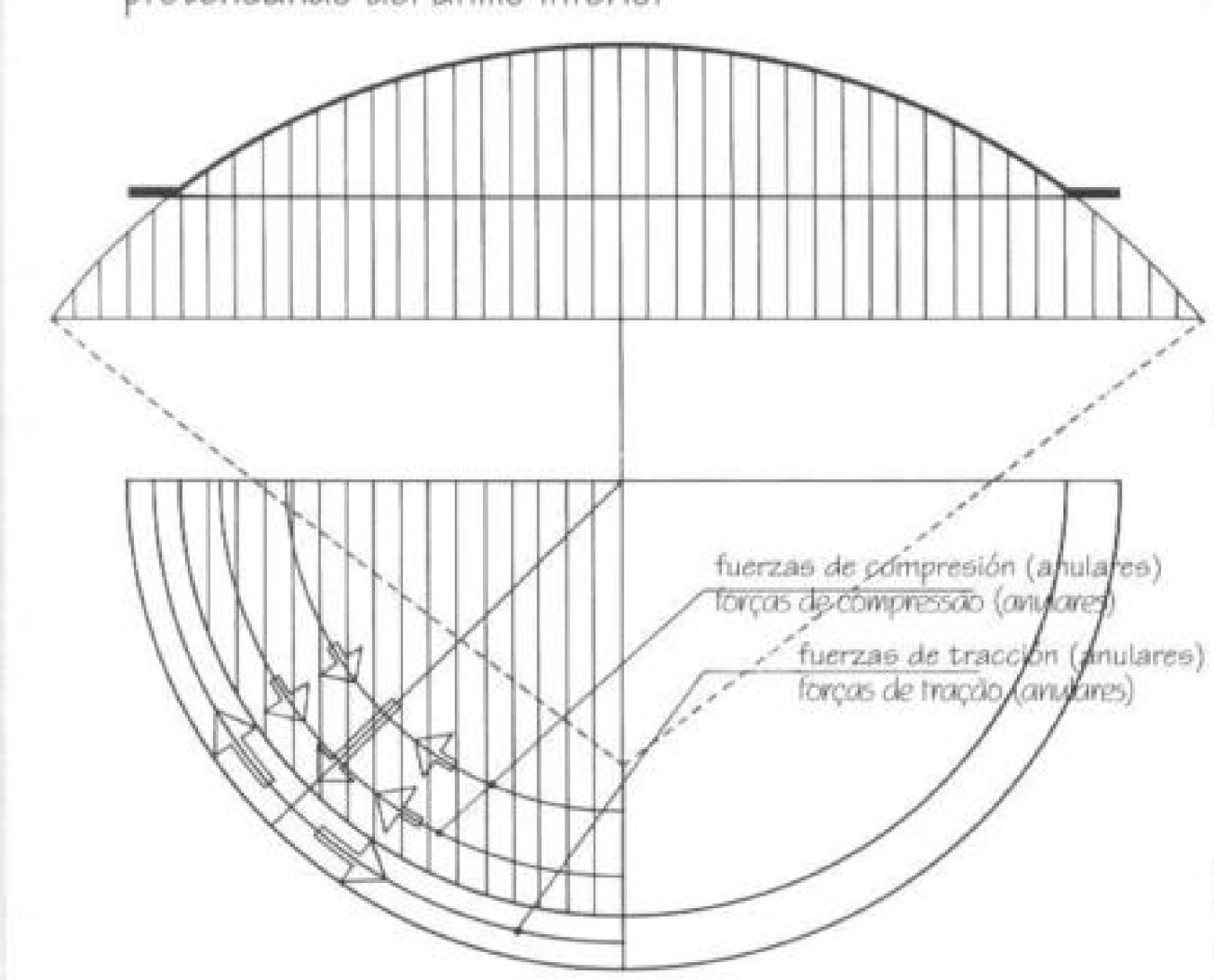


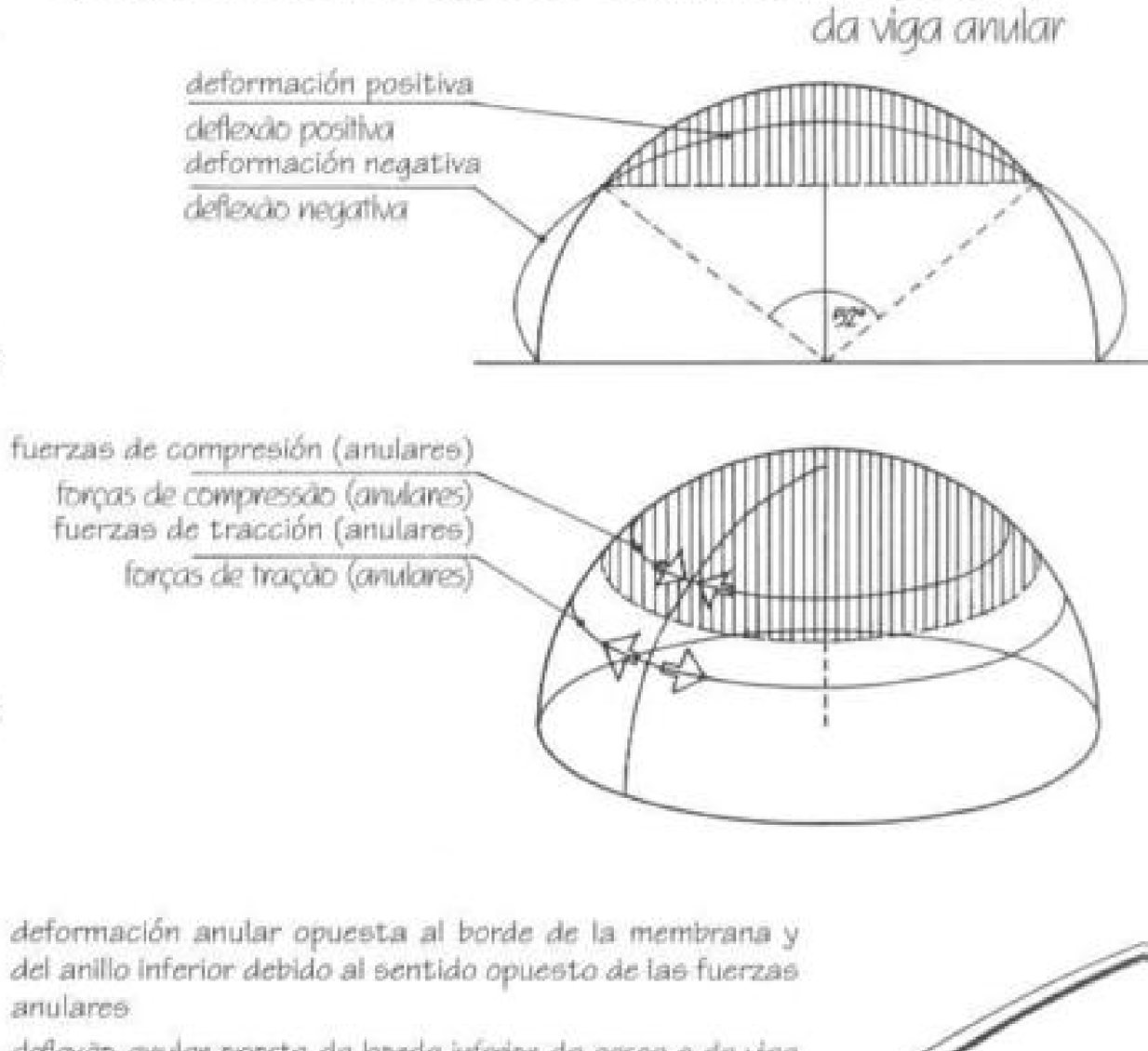

En el caso de apoyos deslizantes, se puede dilatar libremente el borde de la membrana: tensiones puras de membrana. En cambio, si el movimiento se limita debido al rozamiento en los apoyos, aparecen perturbaciones de flexión. Igual sucede en el caso de que la tangente en el punto de apoyo no sea vertical y se coloque un anillo inferior de rigidización que se deforme de manera diferente al resto de la membrana.

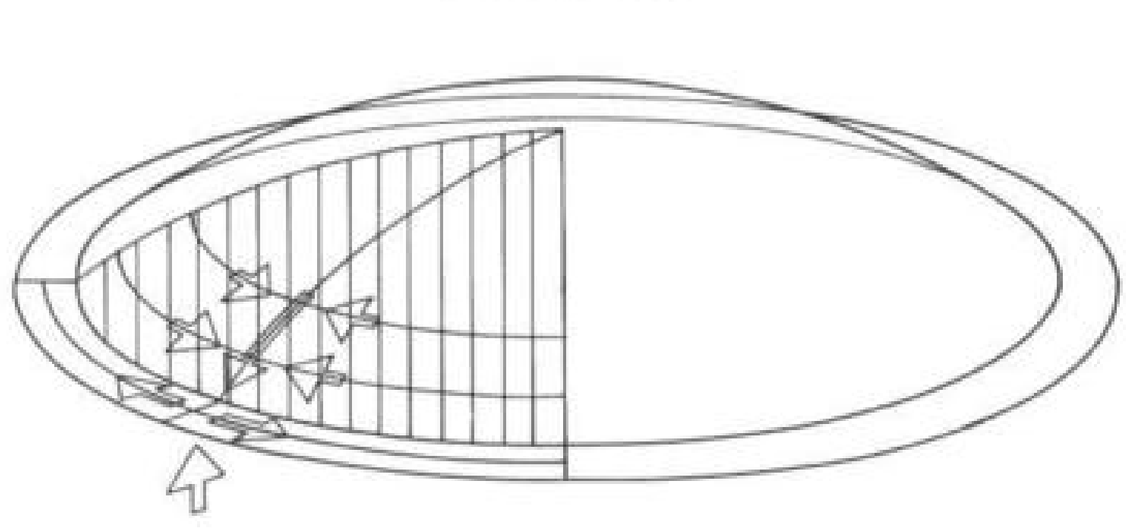
*Com apoios flexíveis, a borda inferior da casca pode expandir-se livremente: somente os esforços de membrana. Se, porém, esse movimento não for obstruído pelo atrito dos apoios, introduzir-se-ão perturbações de flexão. O mesmo ocorrerá quando, no caso de tangente final de borda não vertical, construa-se uma viga anular cuja expansão seja diferente da borda inferior da casca.*

## Reducción de las perturbaciones de borde pretensando del anillo inferior

## Redução das perturbações de borda mediante protensão da viga anular



fuerzas anulares en membrana en cúpula rebajada
forças anulares na casca esférica rebaixada



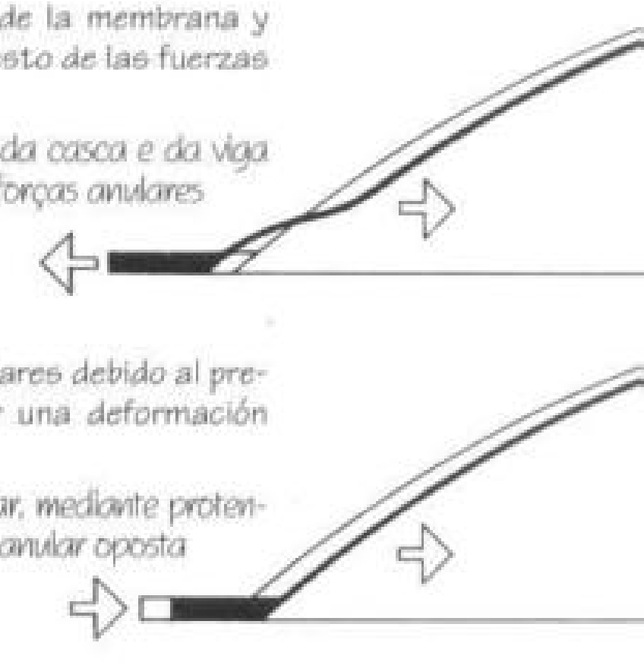
con anillo a tracción en el borde de la membrana
com anel de tração na borda inferior da casca

deformación anular opuesta al borde de la membrana y del anillo inferior debido al sentido opuesto de las fuerzas anulares

deflexão anular oposta da borda inferior da casca e da viga anular, causada pela direção oposta das forças anulares

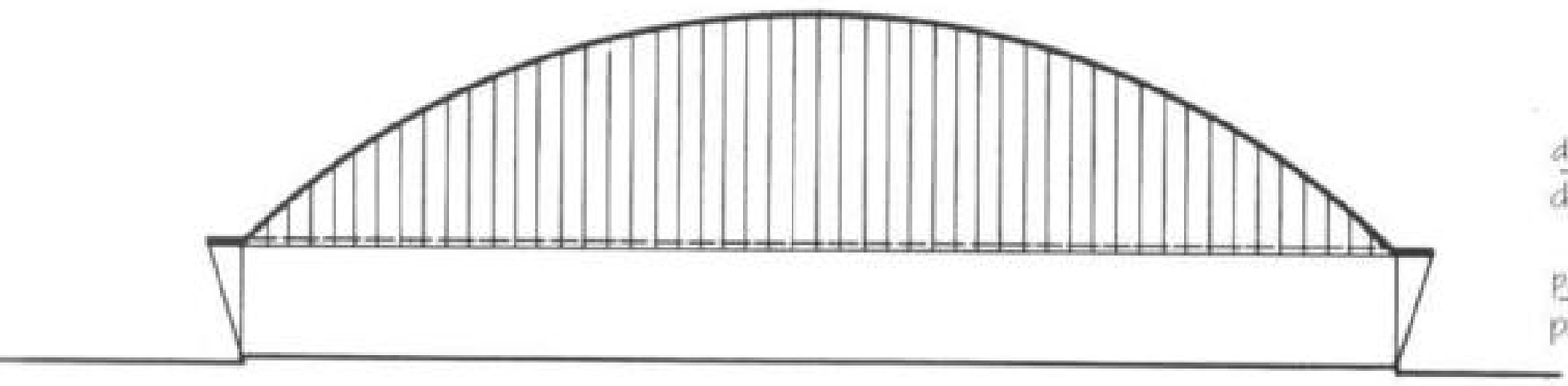
sentido coincidente de las fuerzas anulares debido al pretensado del anillo inferior para evitar una deformación opuesta

inversão da direção defletiva na viga anular, mediante protensão, e conseqüente eliminação de deflexão anular oposta



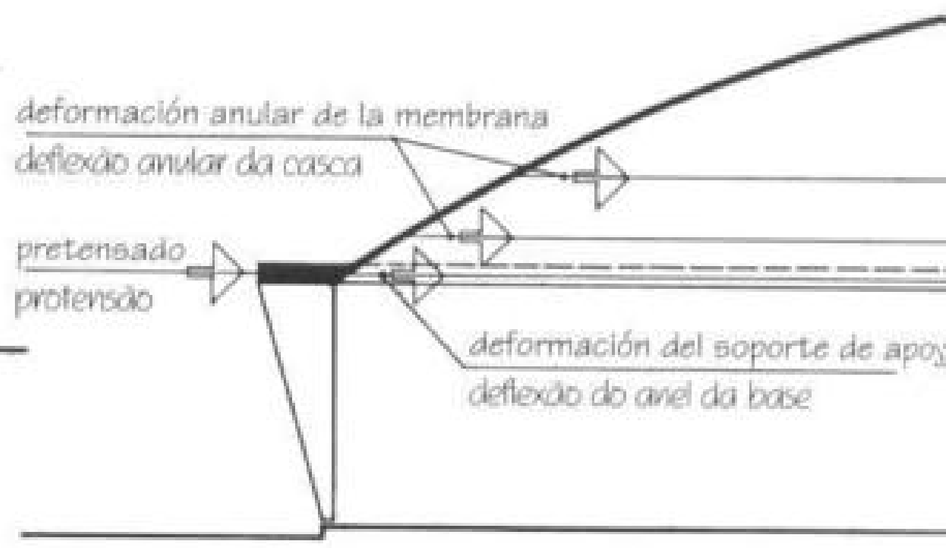
reducción de la perturbación por flexión en el borde inferior de la membrana
redução da perturbação por flexão da borda inferior da casca

## Diseño del borde inferior en membranas en cúpula rebajada

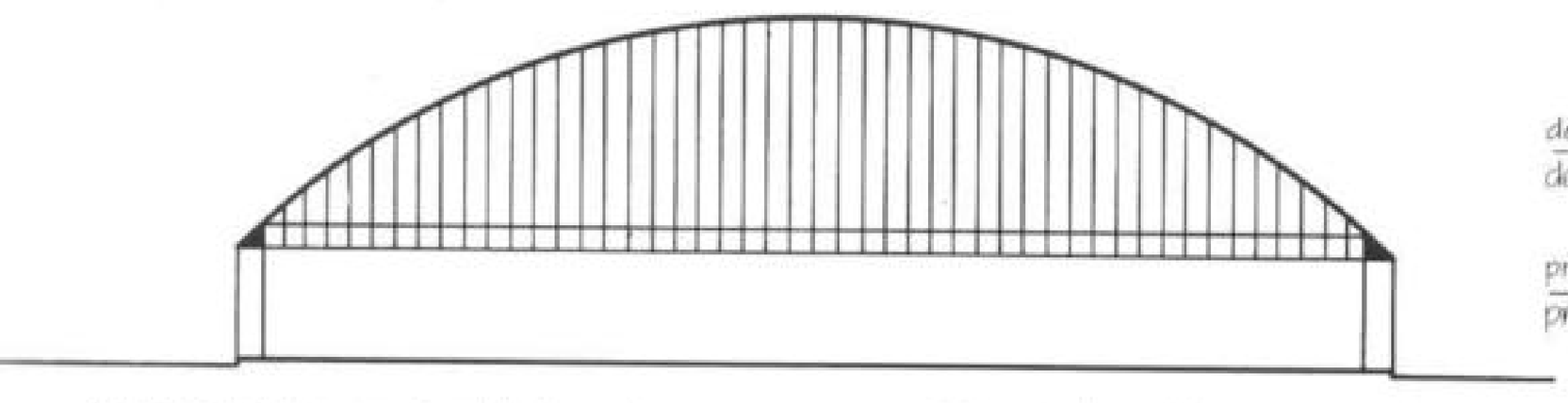


Pretensado de los soportes exteriores de apoyo

La deformación centrífuga del anillo a tracción se invierte para hacerla coincidir con la deformación centrípeta de la membrana

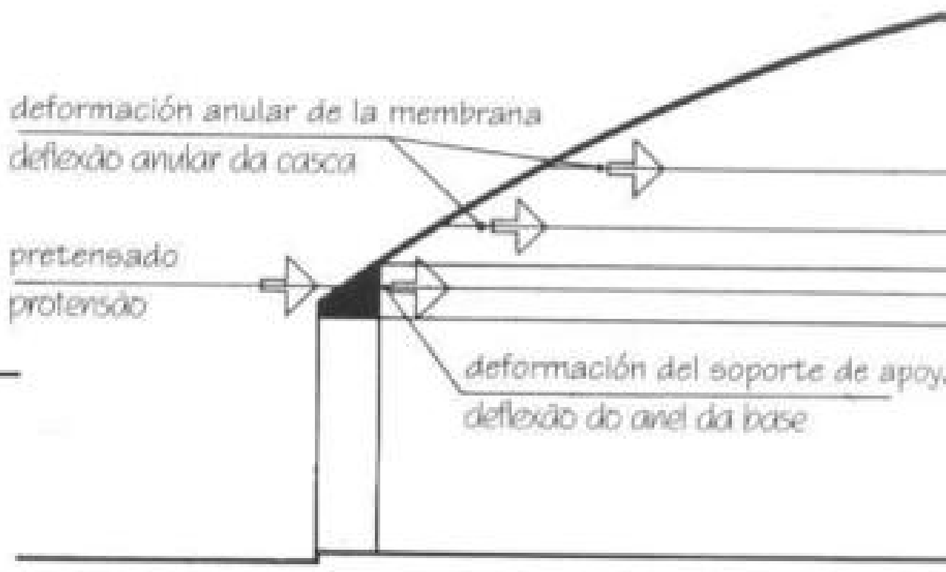



## Projeto da borda inferior em casca esférica rebaixada



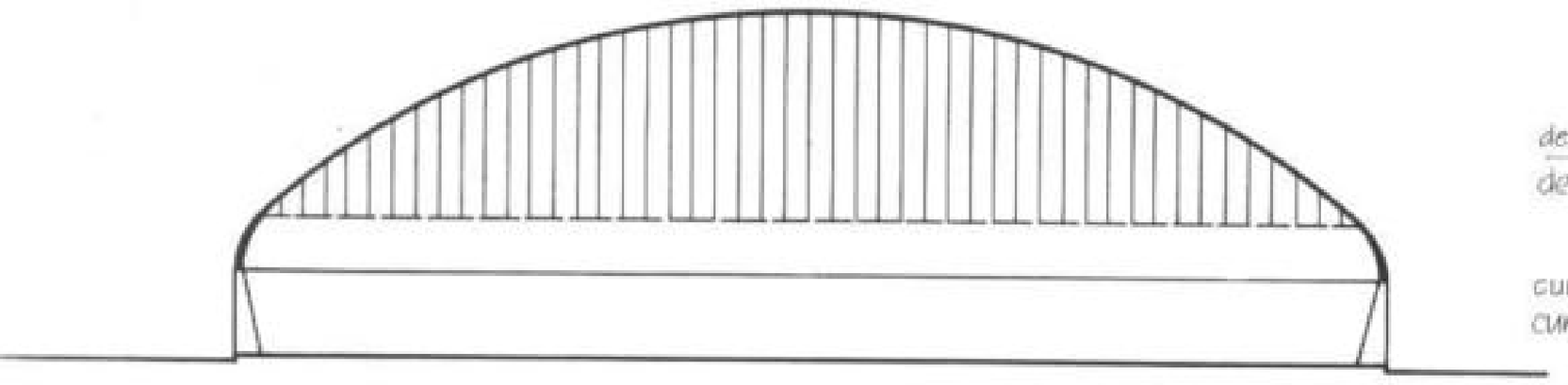
Protensão do anel da base no exterior da casca

A deflexão centrífuga do anel de tração inverter-se-á para seguir a deflexão anular centrípeta da borda inferior da casca



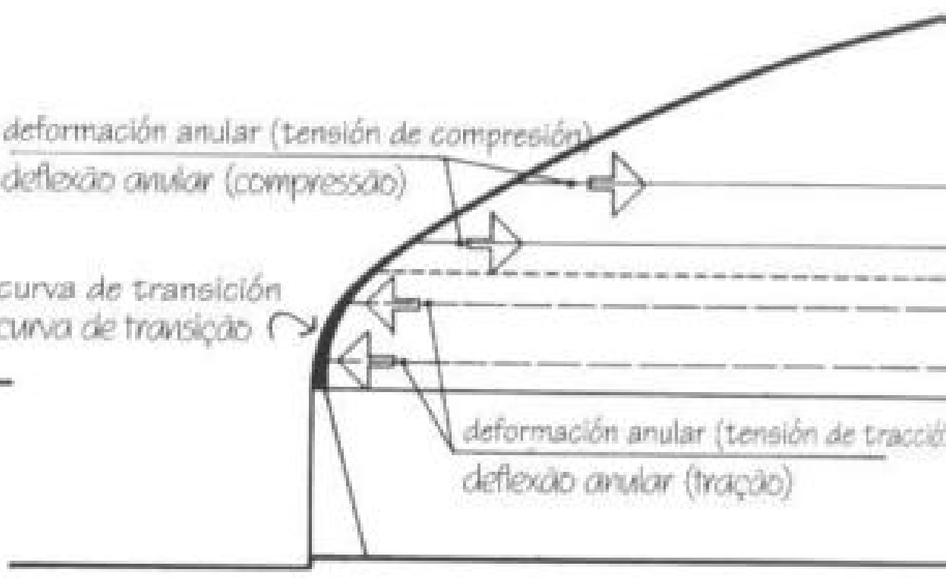

Pretensado de los soportes interiores de apoyo

El mecanismo para evitar las perturbaciones de borde se basa, igual que en el caso anterior, en invertir la tendencia de deformación



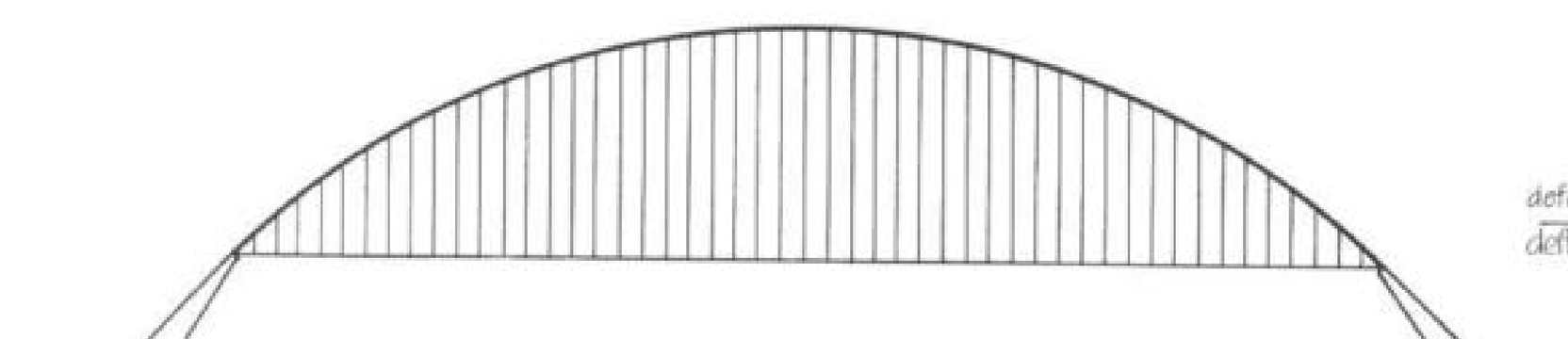
Protensão do anel da base dentro da casca

O mecanismo para a eliminação de perturbações de borda baseia-se, como foi visto, na inversão da tendência à deformação




Delimitación vertical con una curva de transición

El cambio de la deformación anular centrípeta a centrífuga se produce gradualmente y en el interior de la membrana

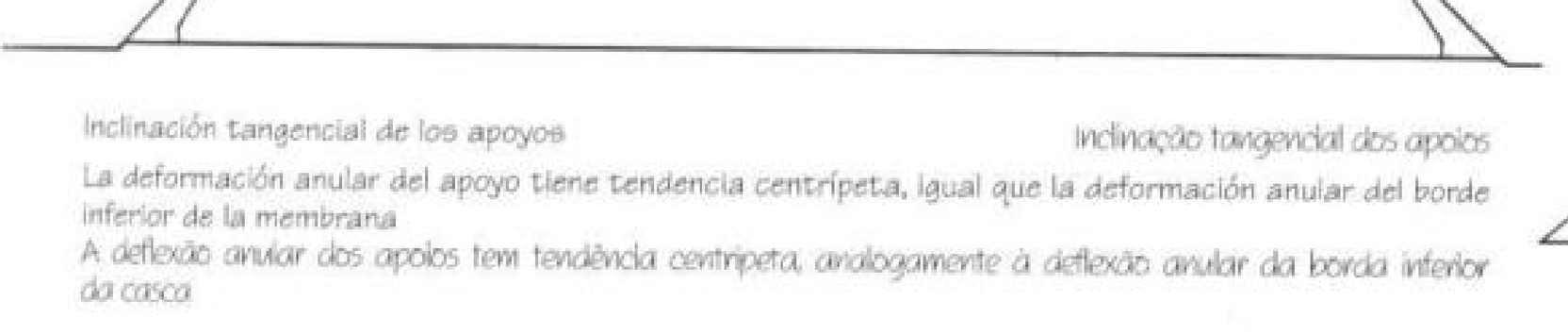


Extremidade vertical mediante curva de transição

A transformação da deflexão anular centrípeta ocorre gradualmente e dentro da casca (como na semi-esfera)

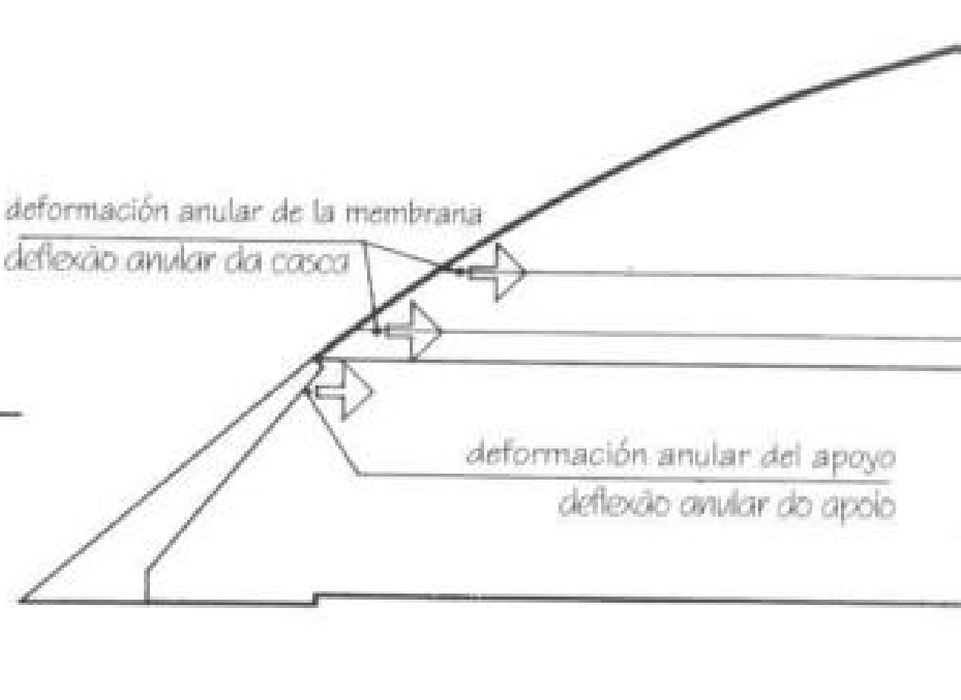
Inclinación tangencial de los apoyos

La deformación anular del apoyo tiene tendencia centrípeta, igual que la deformación anular del borde inferior de la membrana



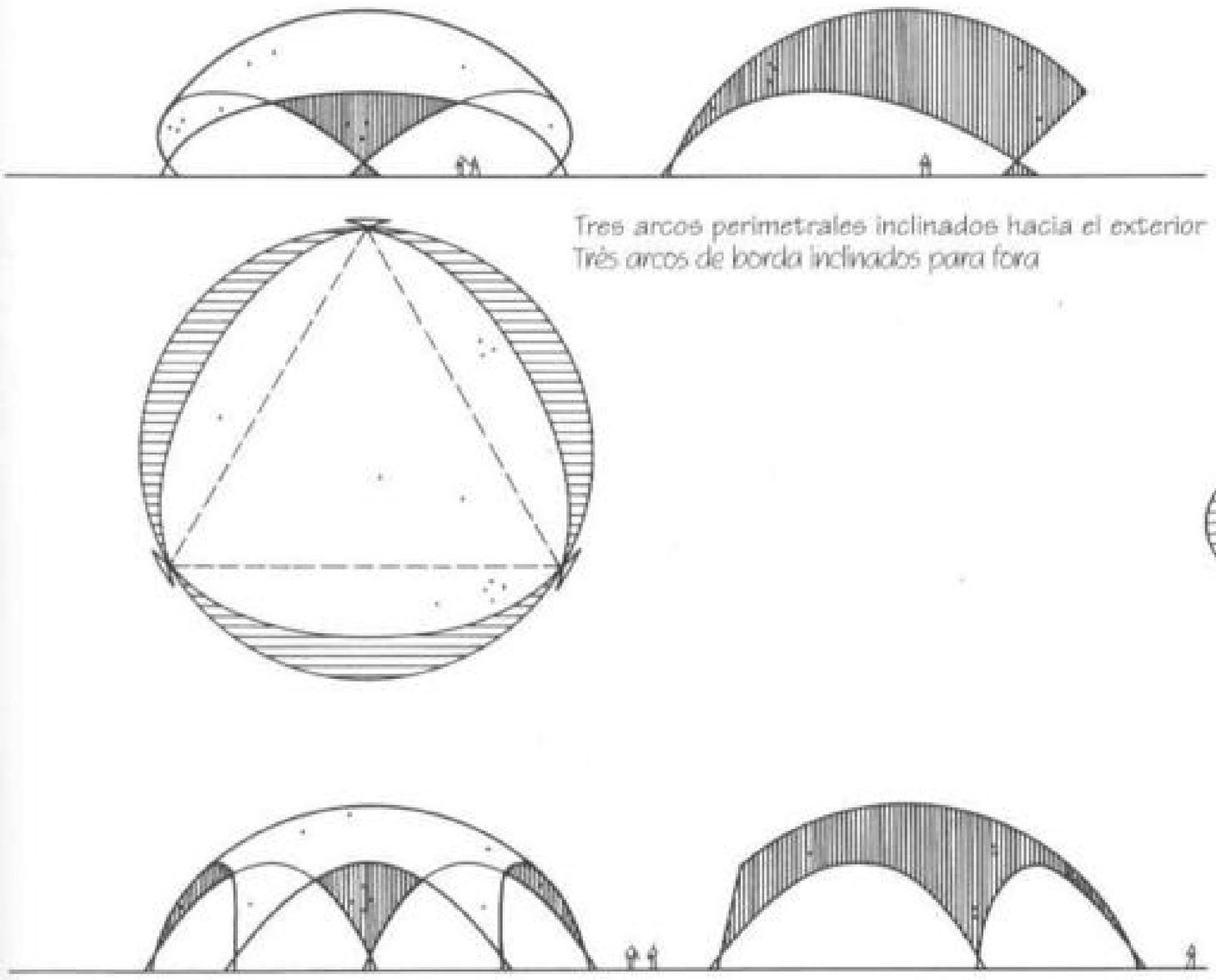
Inclinação tangencial dos apoios

A deflexão anular dos apoios tem tendência centrípeta, analogamente à deflexão anular da borda inferior da casca

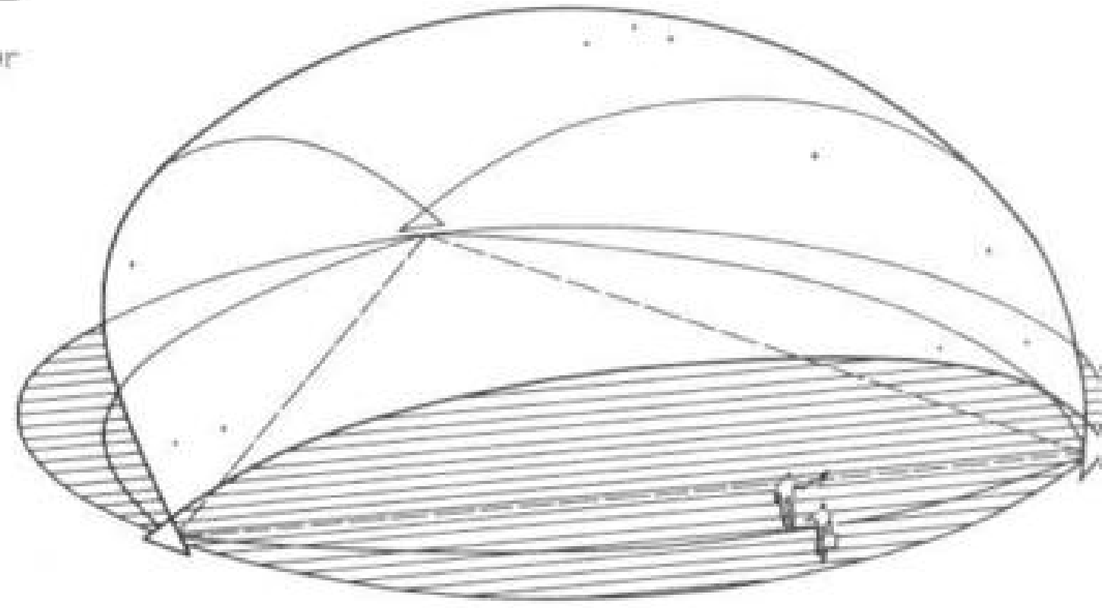


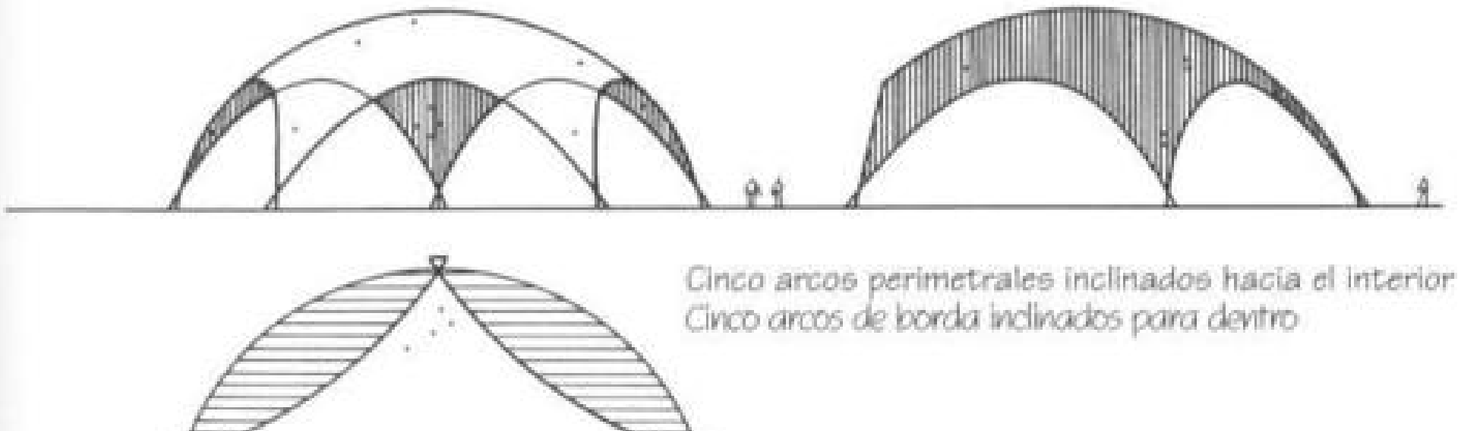
## Sistemas de definición de espacios con una superficie esférica

## Sistemas de configuração espacial com uma supeficie esférica

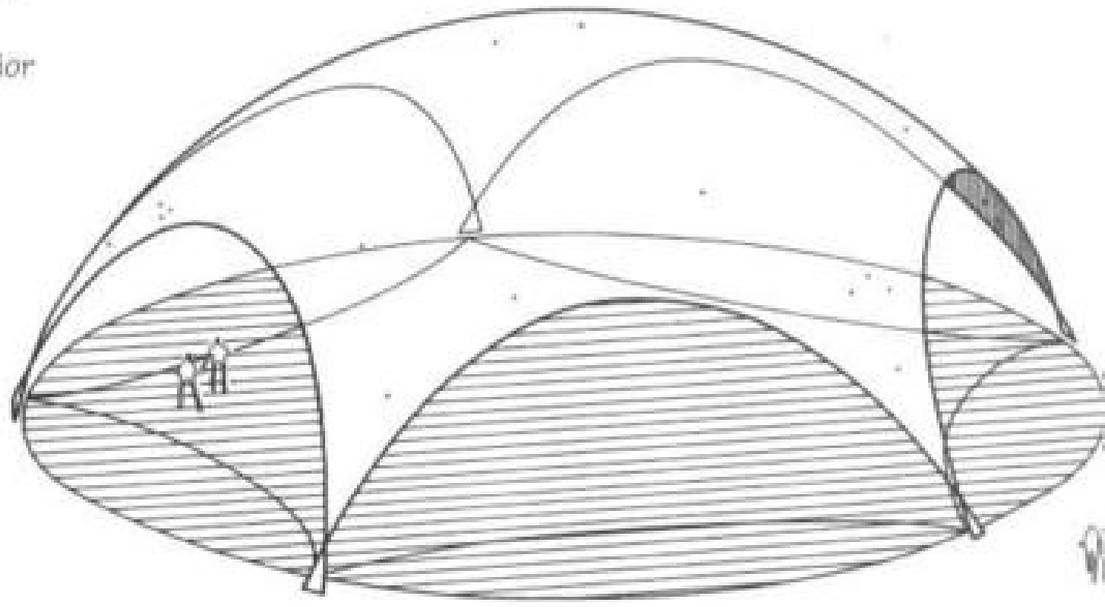


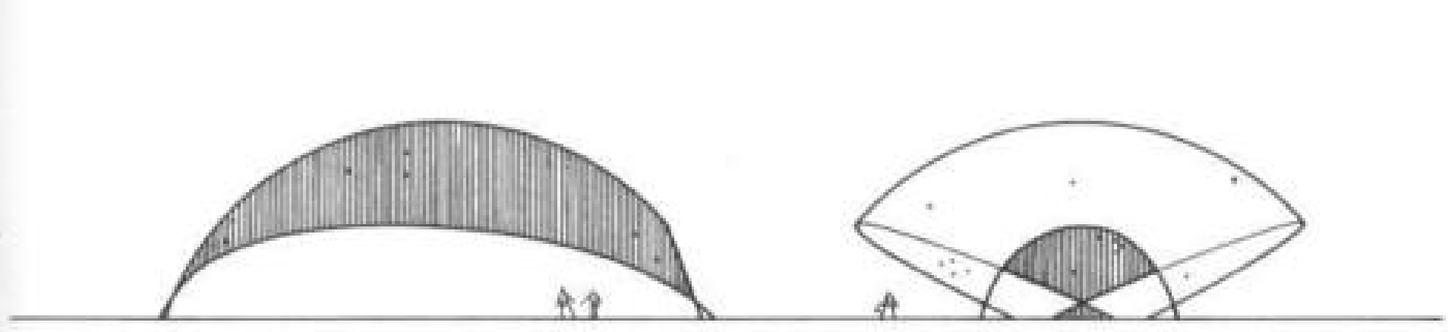
Tres arcos perimetrales inclinados hacia el exterior
Três arcos de borda inclinados para fora



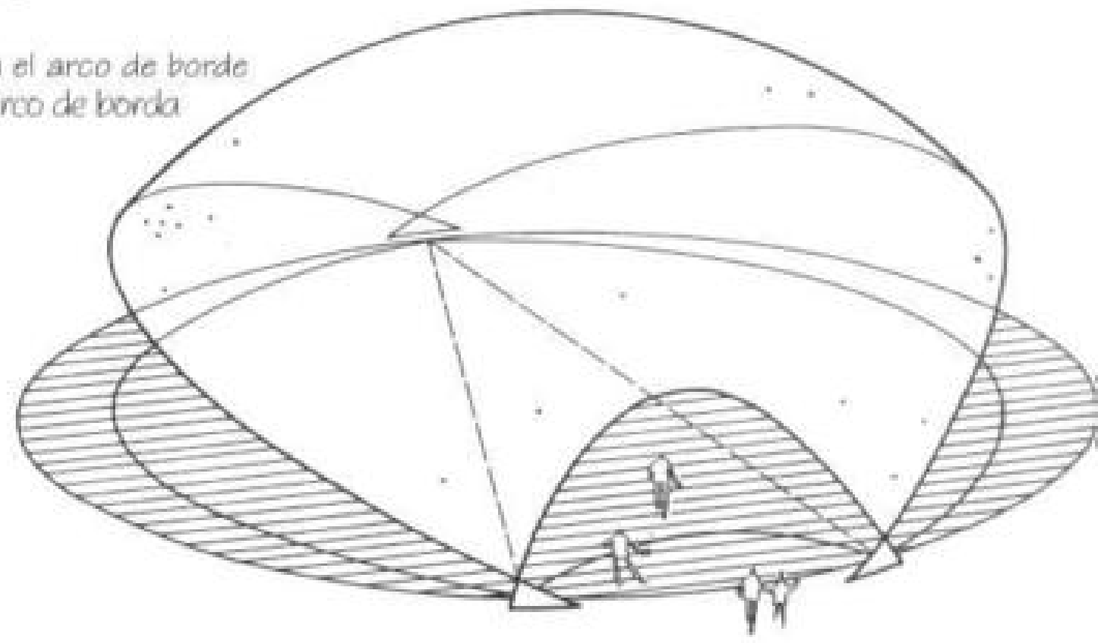


Cinco arcos perimetrales inclinados hacia el interior
Cinco arcos de borda inclinados para dentro

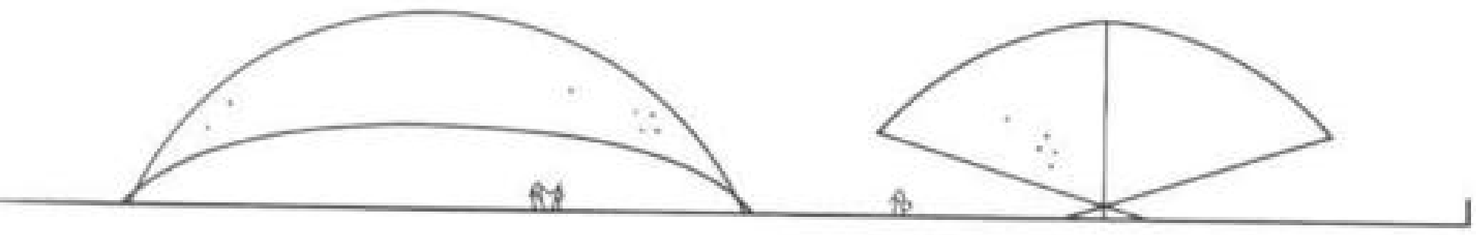




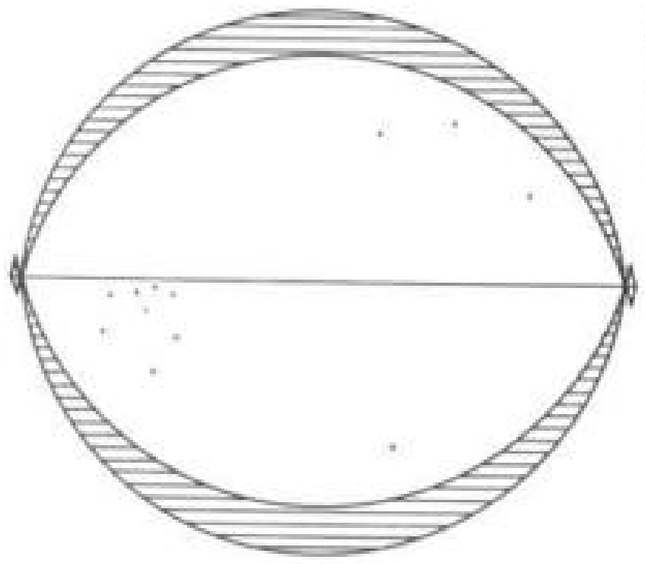
Segmentos inclinados de apoyo anular unidos con el arco de borde
Segmentos inclinados com base anular ligados a um arco de borda



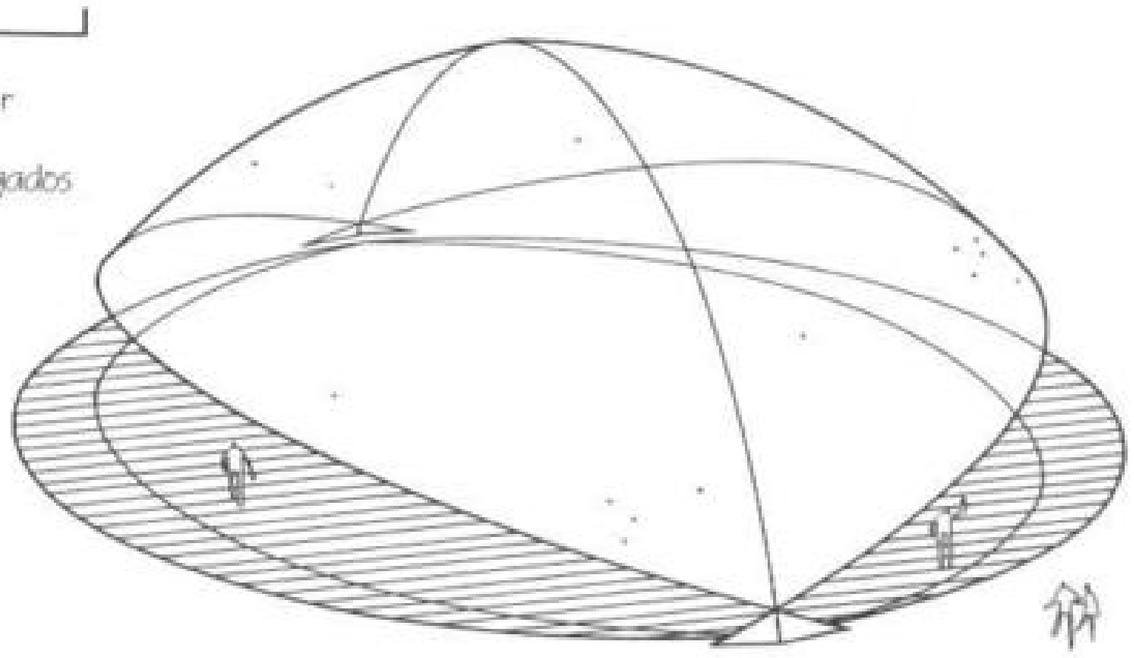
Sistemas de definición de espacios con dos superficies esféricas con pliegue en la cumbrera

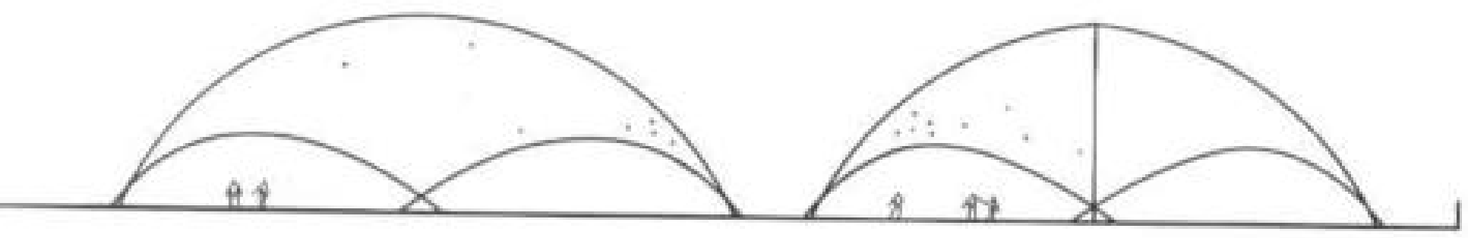


Dos segmentos inclinados de apoyo anular unidos en la cumbrera
Dois segmentos inclinados com base anular ligados na linha de cumeeira

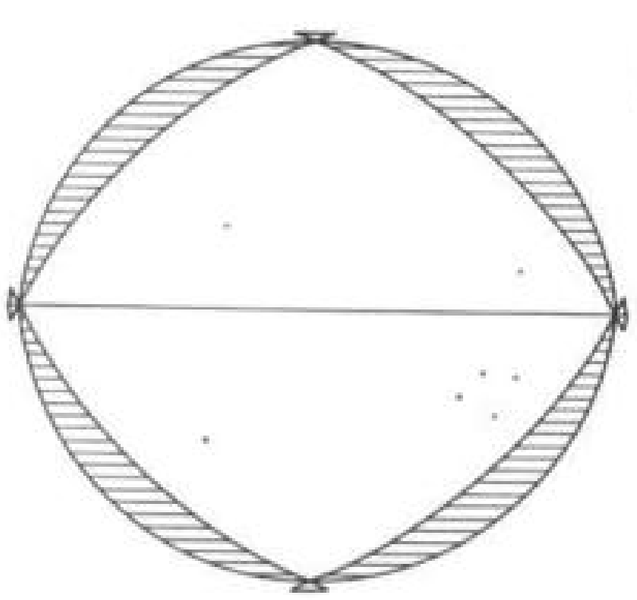


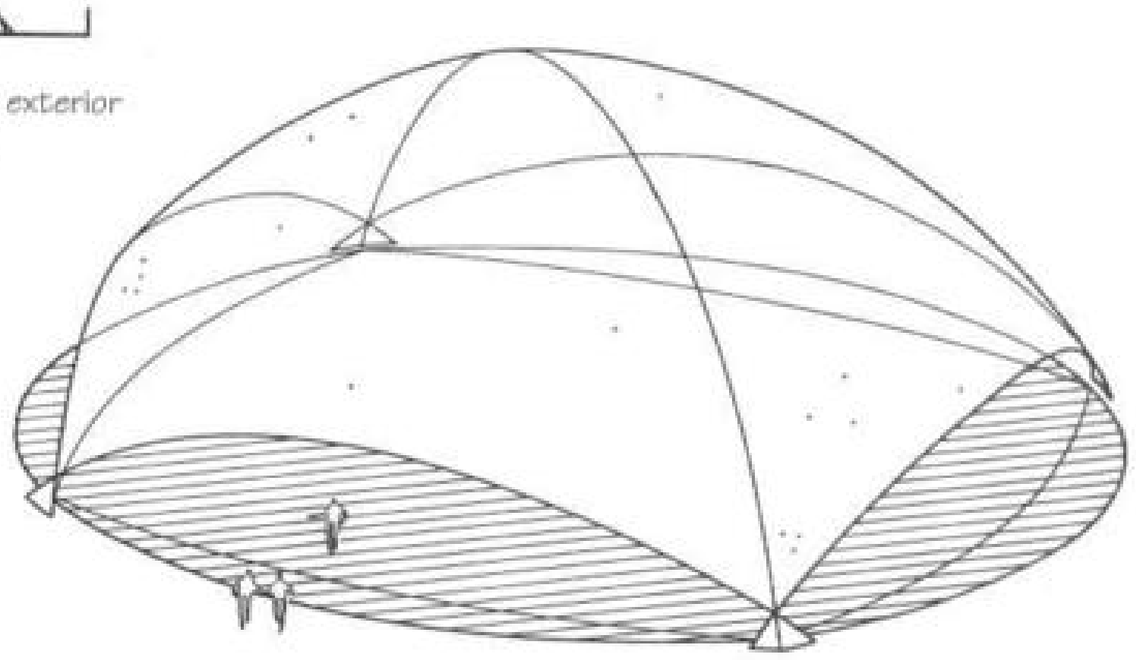
Sistemas de configuração espacial com duas superficies esféricas unidas em cumeeira



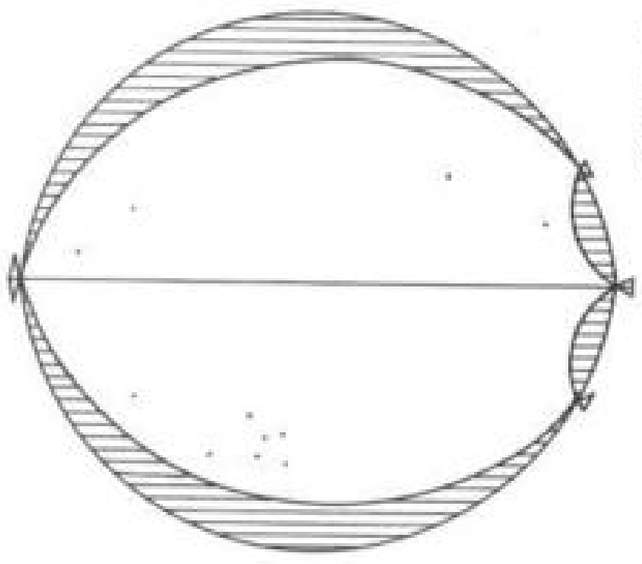


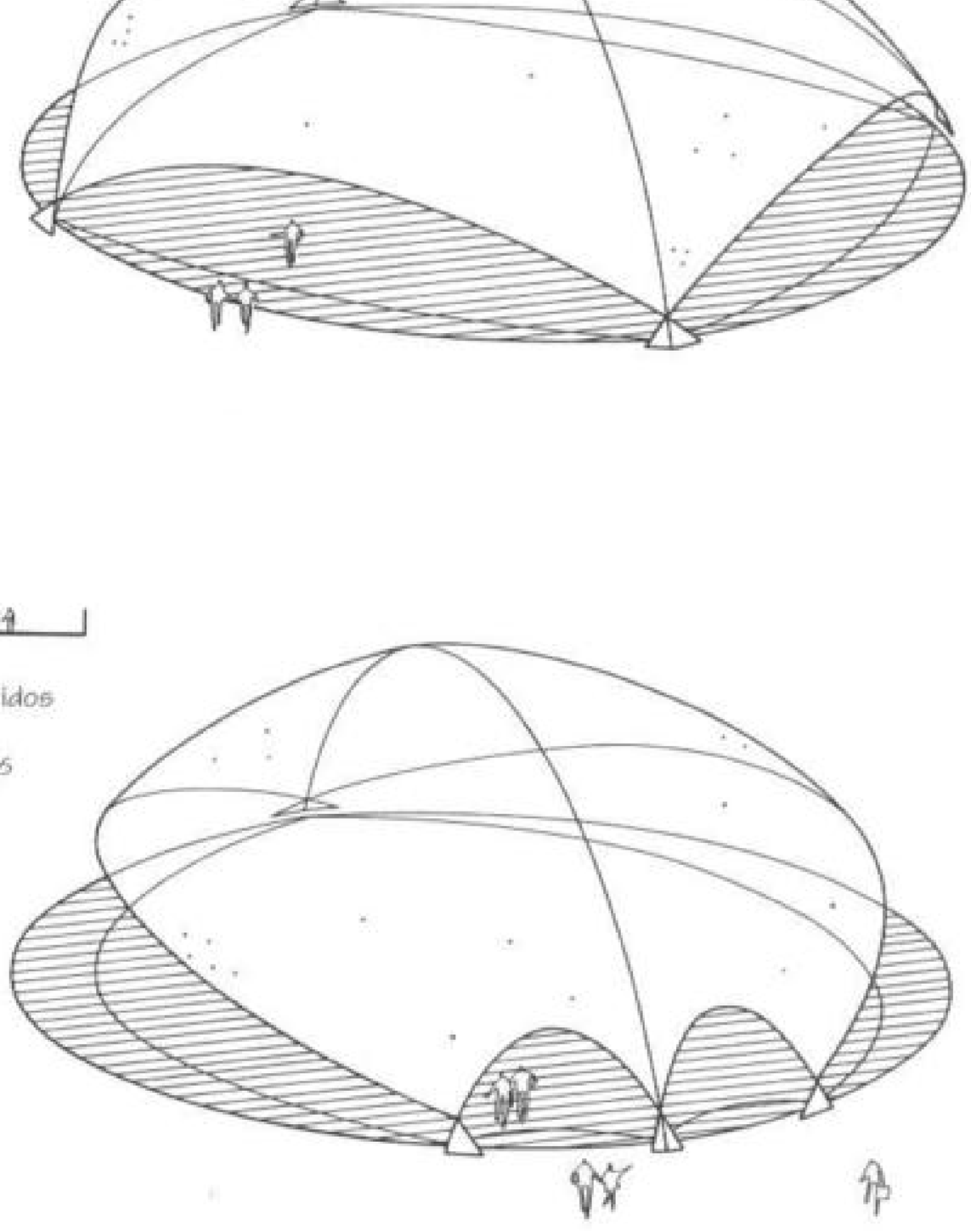
Cuatro arcos de borde inclinados hacia el exterior
Quatro arcos de borda inclinados para fora





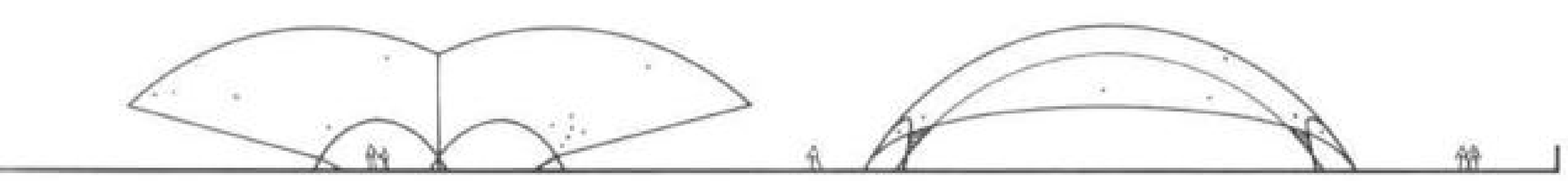
Segmentos inclinados de apoyo anular unidos mediante arcos de borde
Segmentos inclinados com base anular ligados com arcos de borda



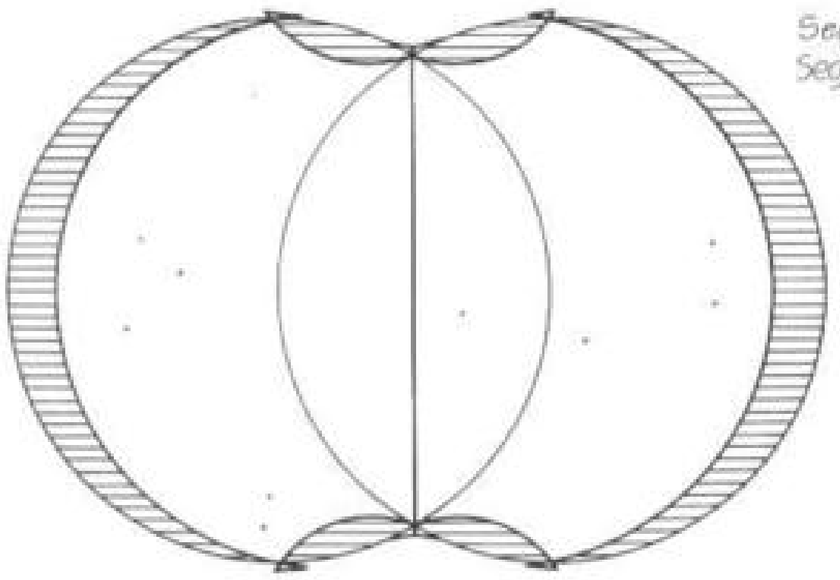


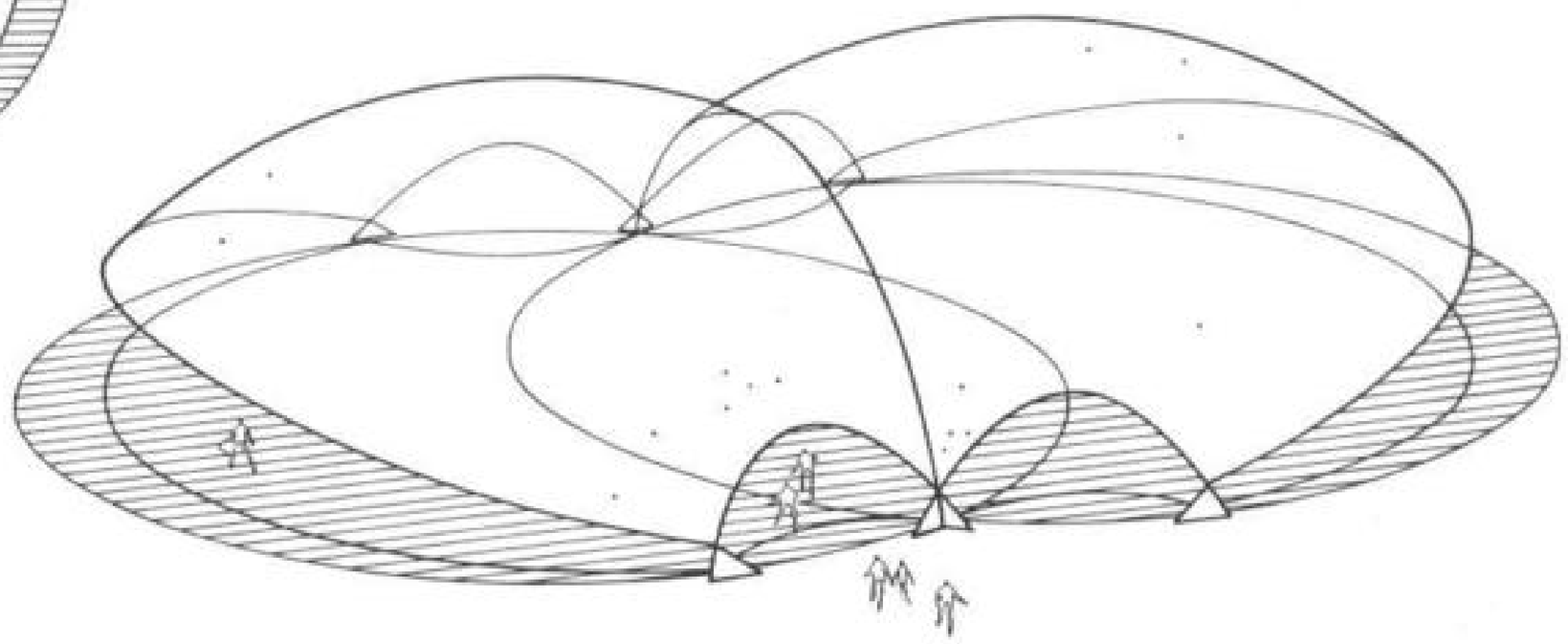
Sistemas de definición de espacios con dos superficies esféricas con unión acanalada

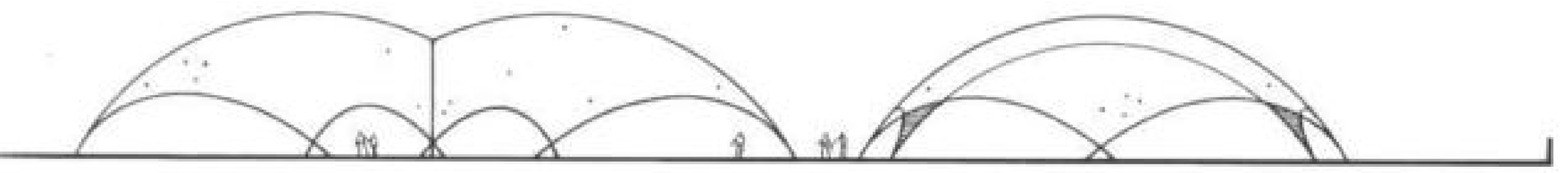
Sistemas de configuração espacial com duas superficies esféricas unidas em água furtada



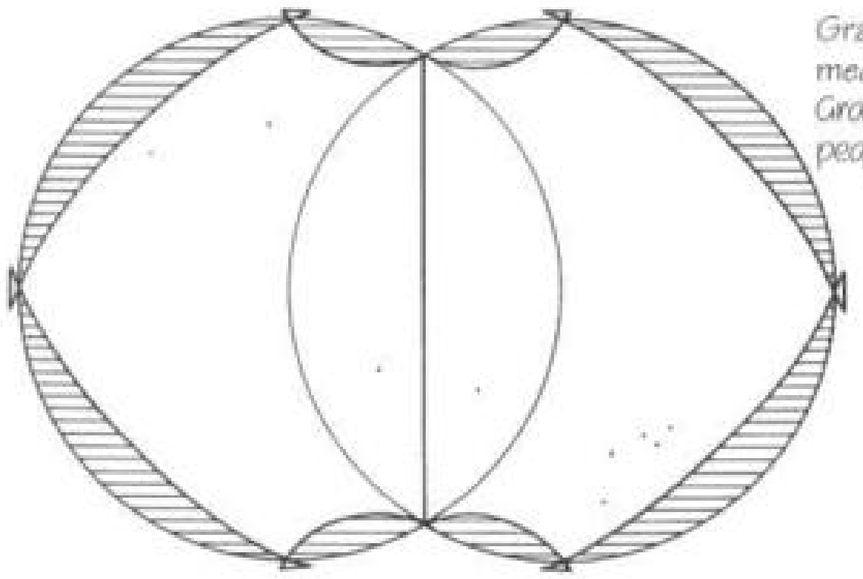
Segmentos inclinados de apoyo anular unidos mediante arcos de borde
Segmentos inclinados com base anular ligados com arcos de borda

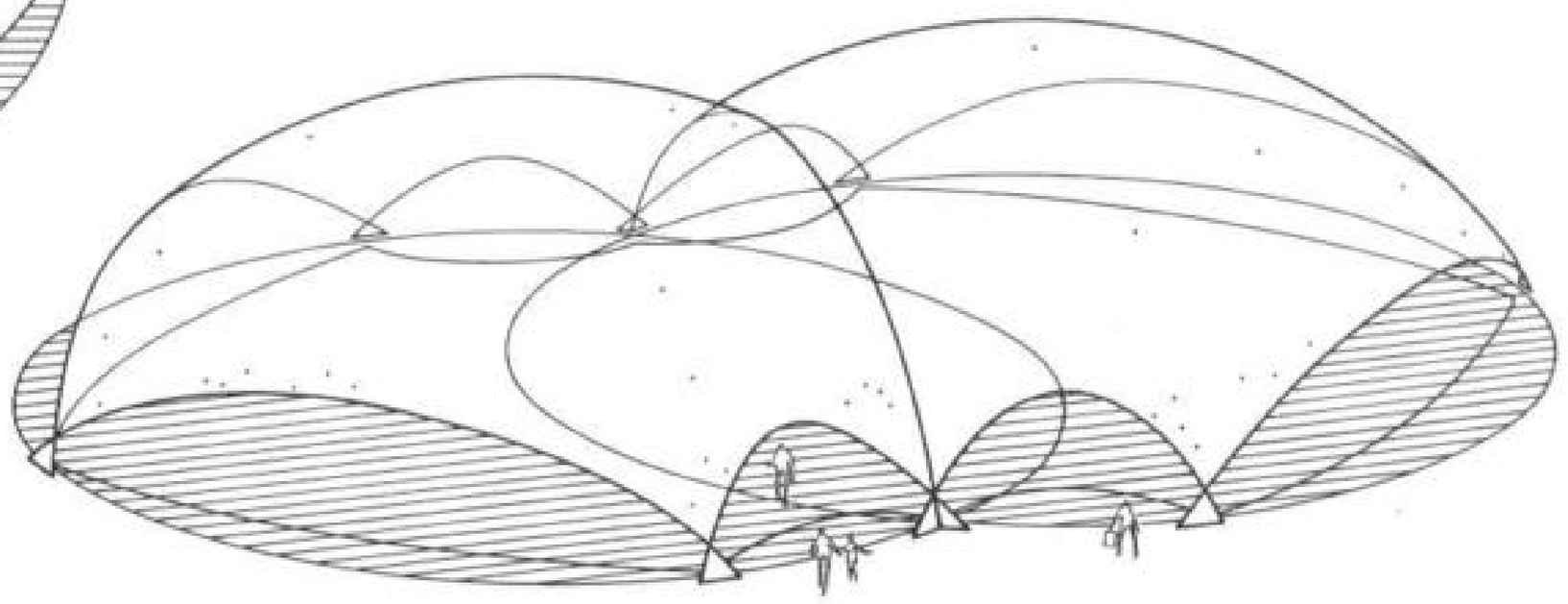




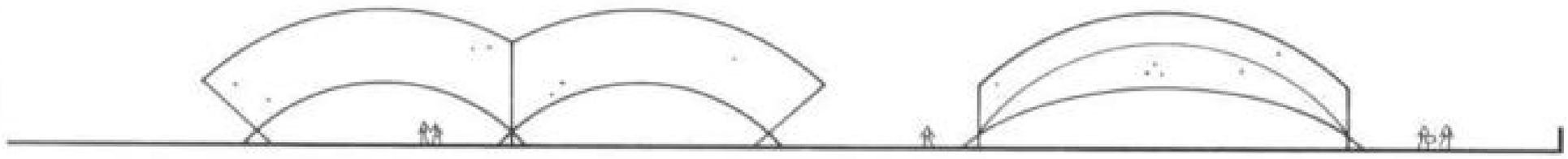


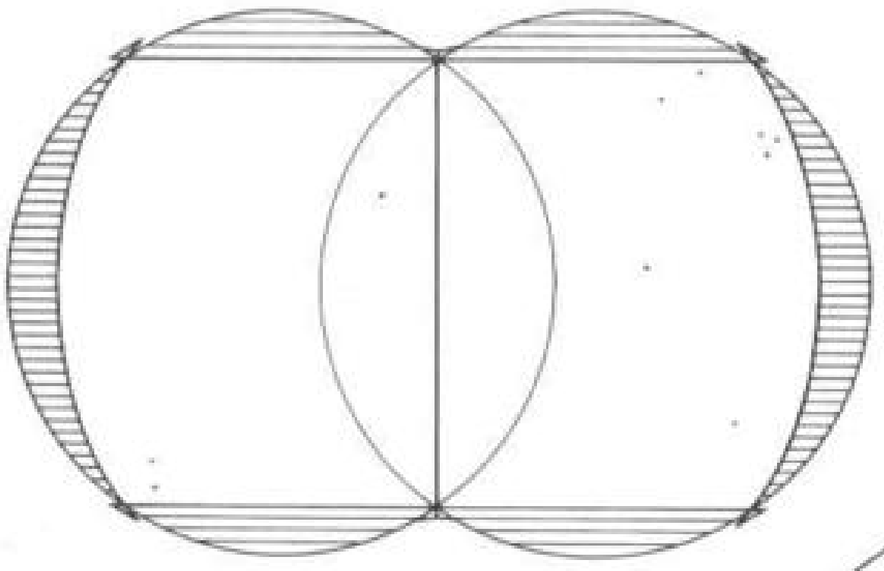
Grandes arcos de borde inclinados hacia el exterior unidos mediante arcos pequeños
Grandes arcos de borda inclinados para fora e combinados com pequenos arcos



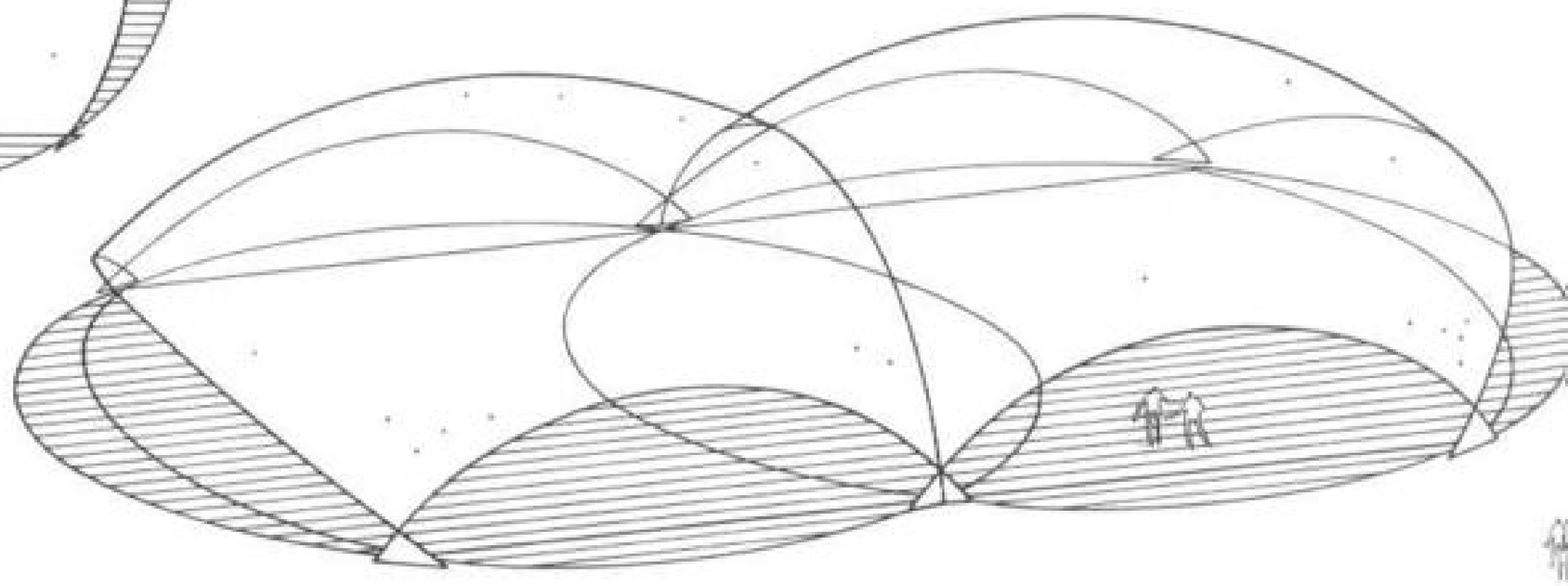


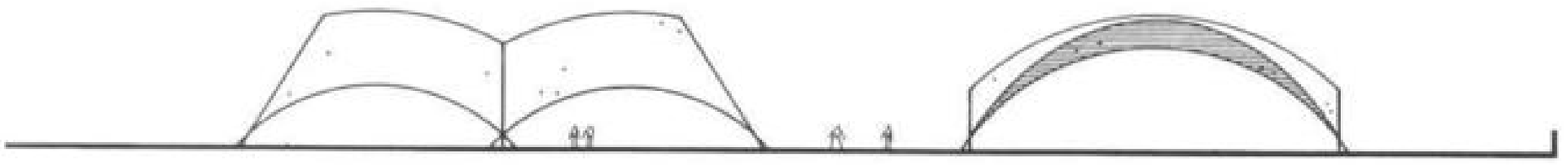
Sistemas de definición de espacios con dos superficies esféricas con pliege en la limahoya

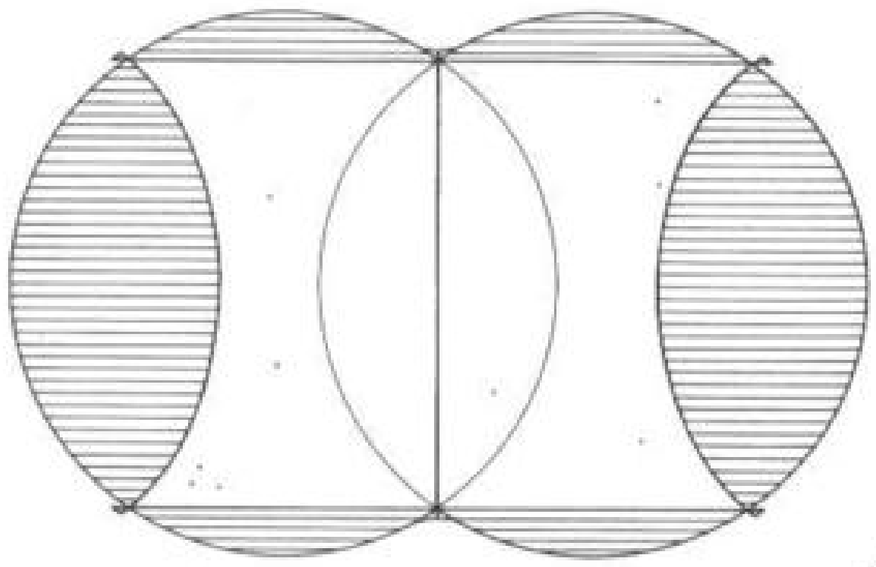




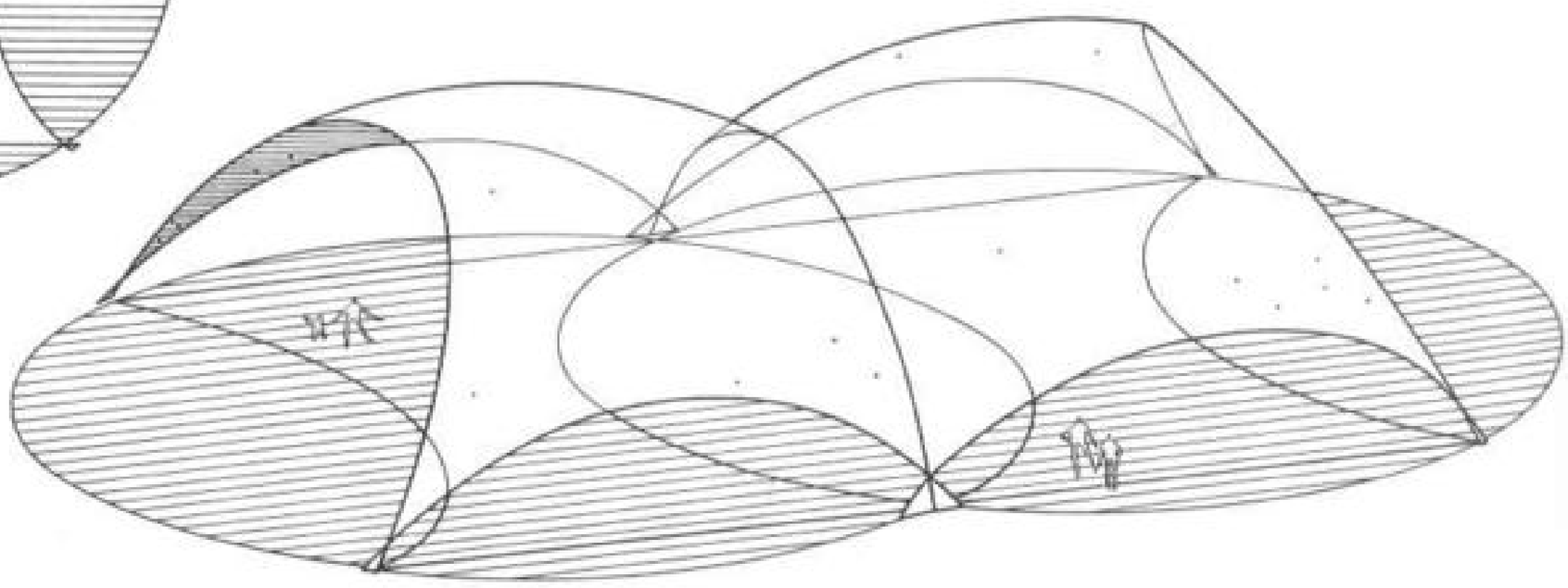
Arcos laterales verticales combinados con arcos de borde inclinados hacia afuera
Arcos laterais verticais combinados com extremos de arcos inclinados para fora





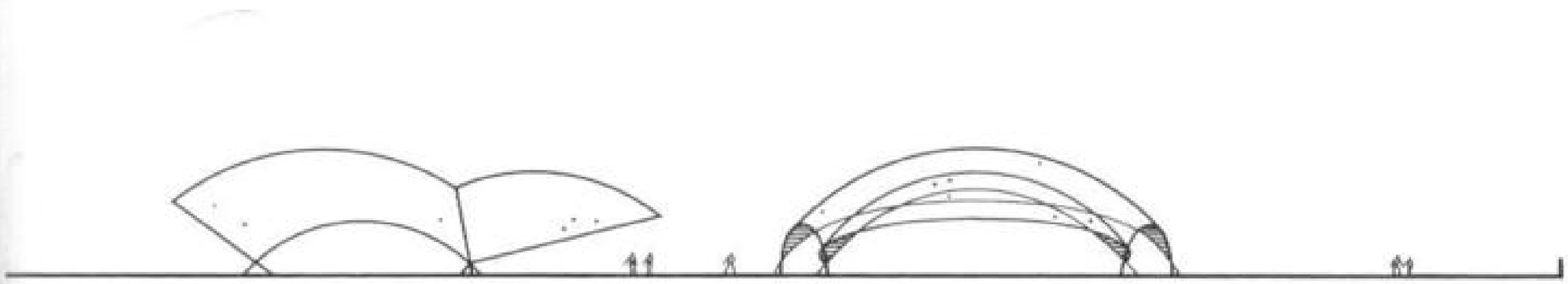


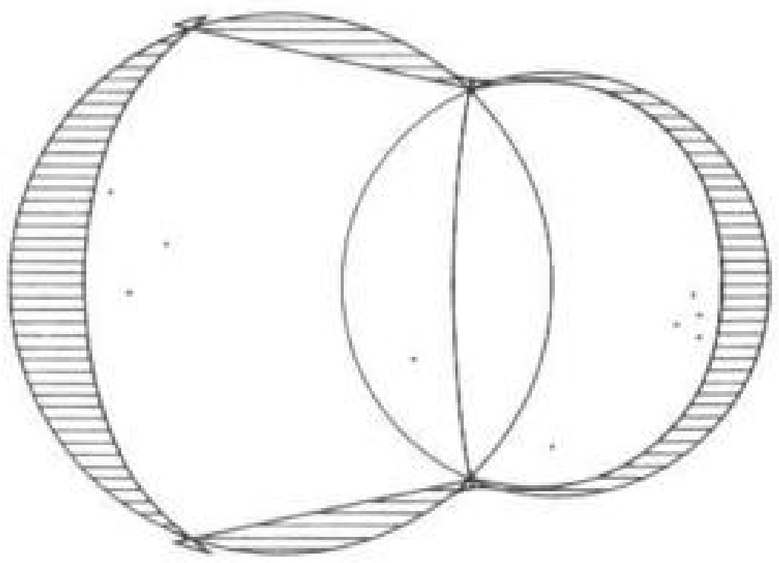
Arcos laterales verticales combinados con arcos de borde inclinados hacia el interior
Arcos laterais verticais combinados com extremos de arcos inclinados para dentro



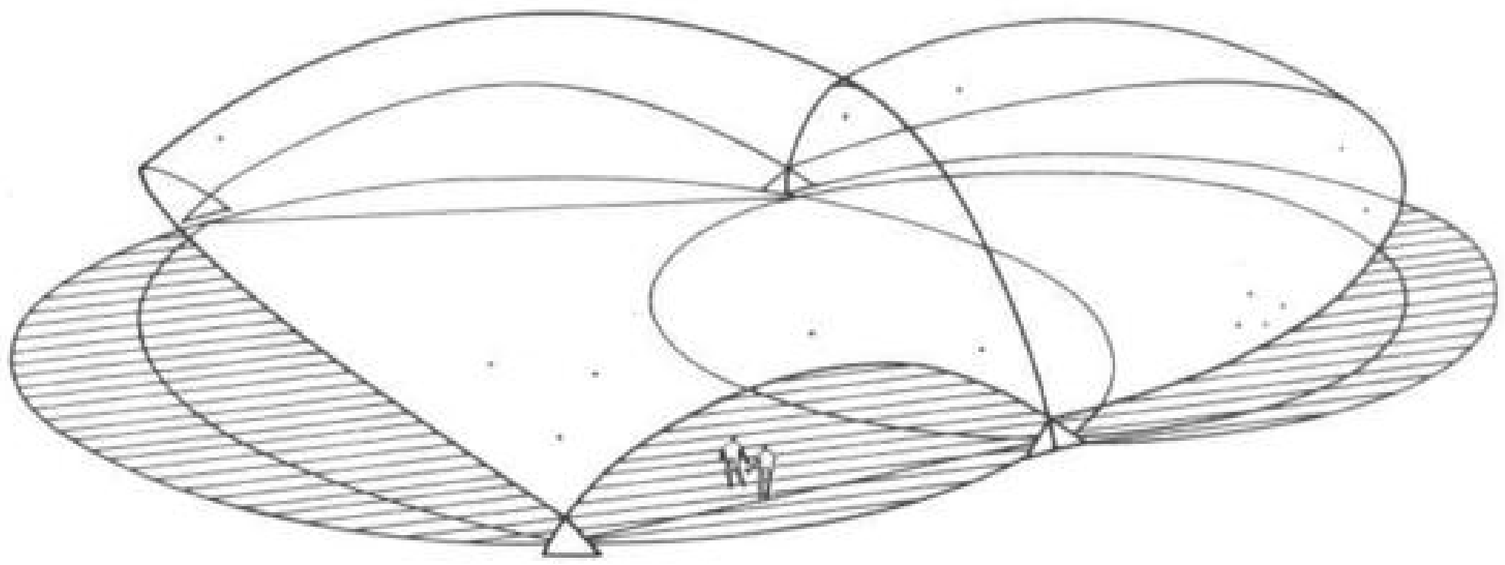
Sistemas de definición de espacios con superficies esféricas de diferente curvatura

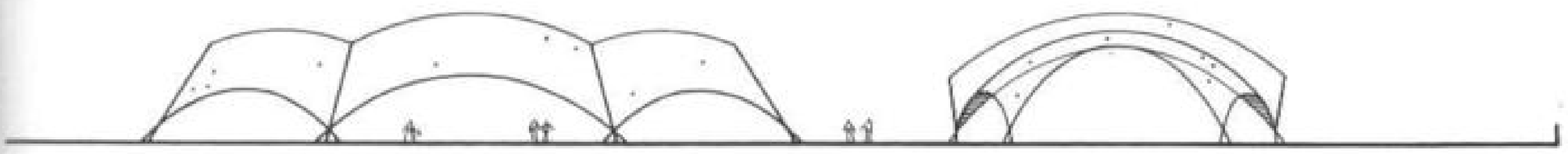
Sistemas de configuração espacial com duas superficies esféricas de diferentes curvaturas



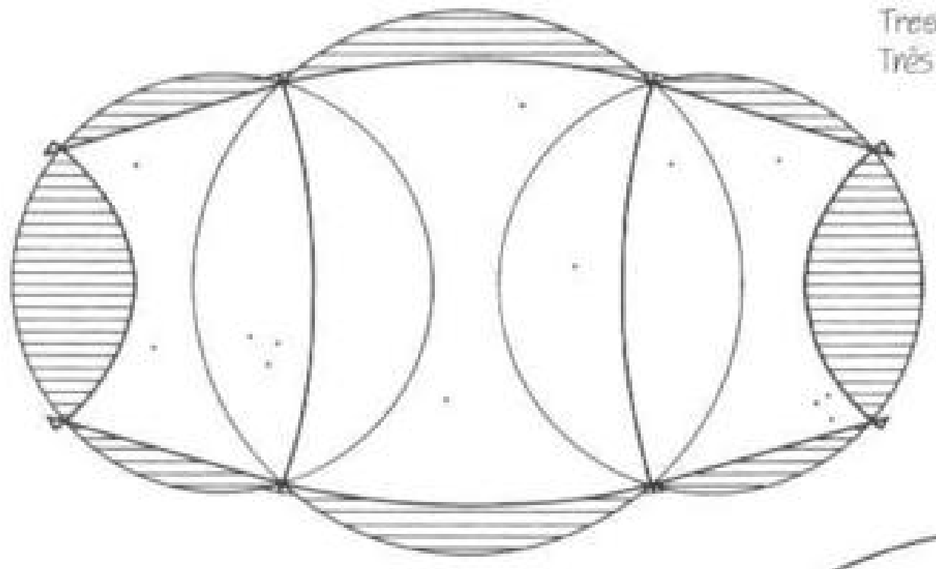


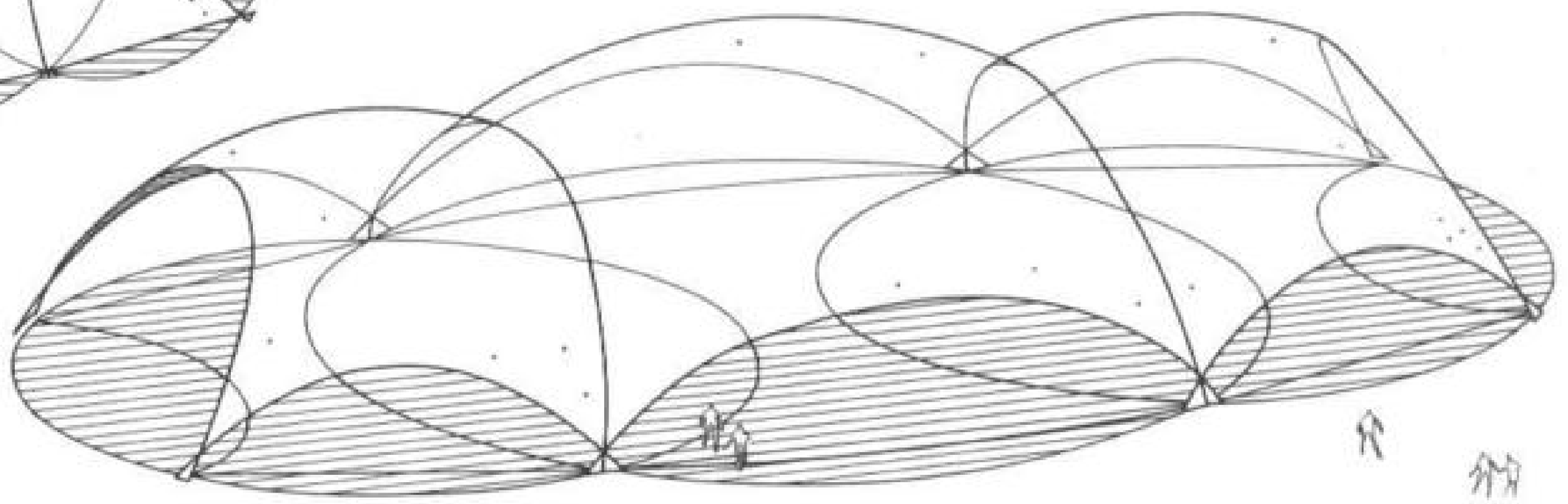
Dos superficies esféricas con arcos laterales verticales y segmentos inclinados de apoyo anular
Duas superficies esféricas com arcos verticais laterais e segmentos inclinados com base anular





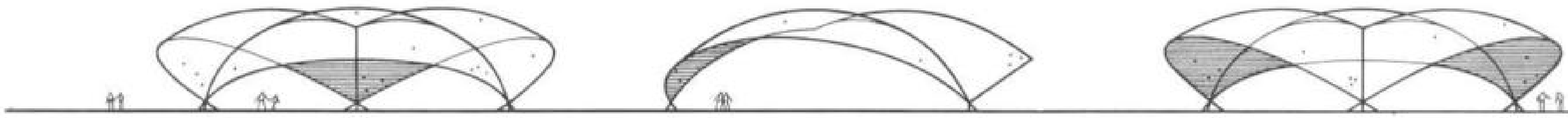
Tres superficies esféricas con arcos de borde verticales e inclinados
Três superficies esféricas com arcos de borda verticais e inclinados



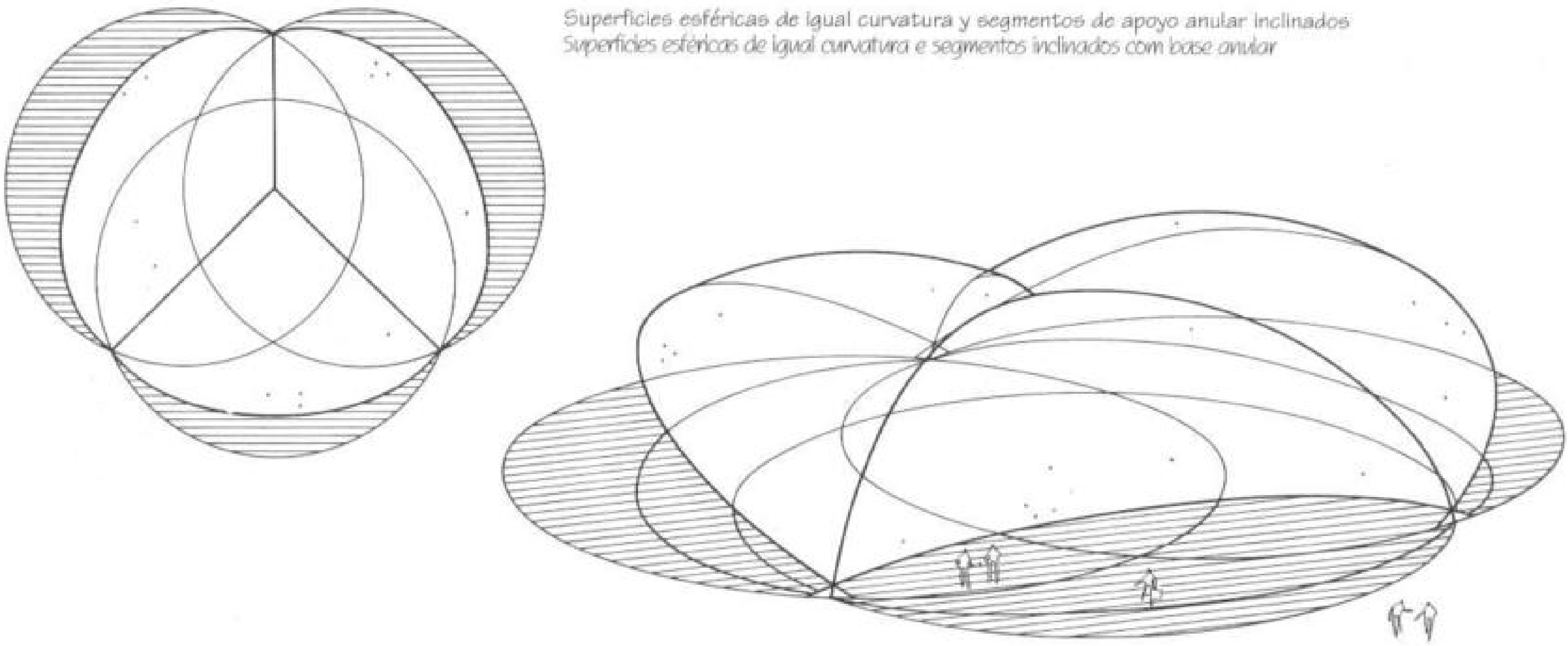


Sistemas de definición de espacios con tres superficies esféricas con unión en la limahoya

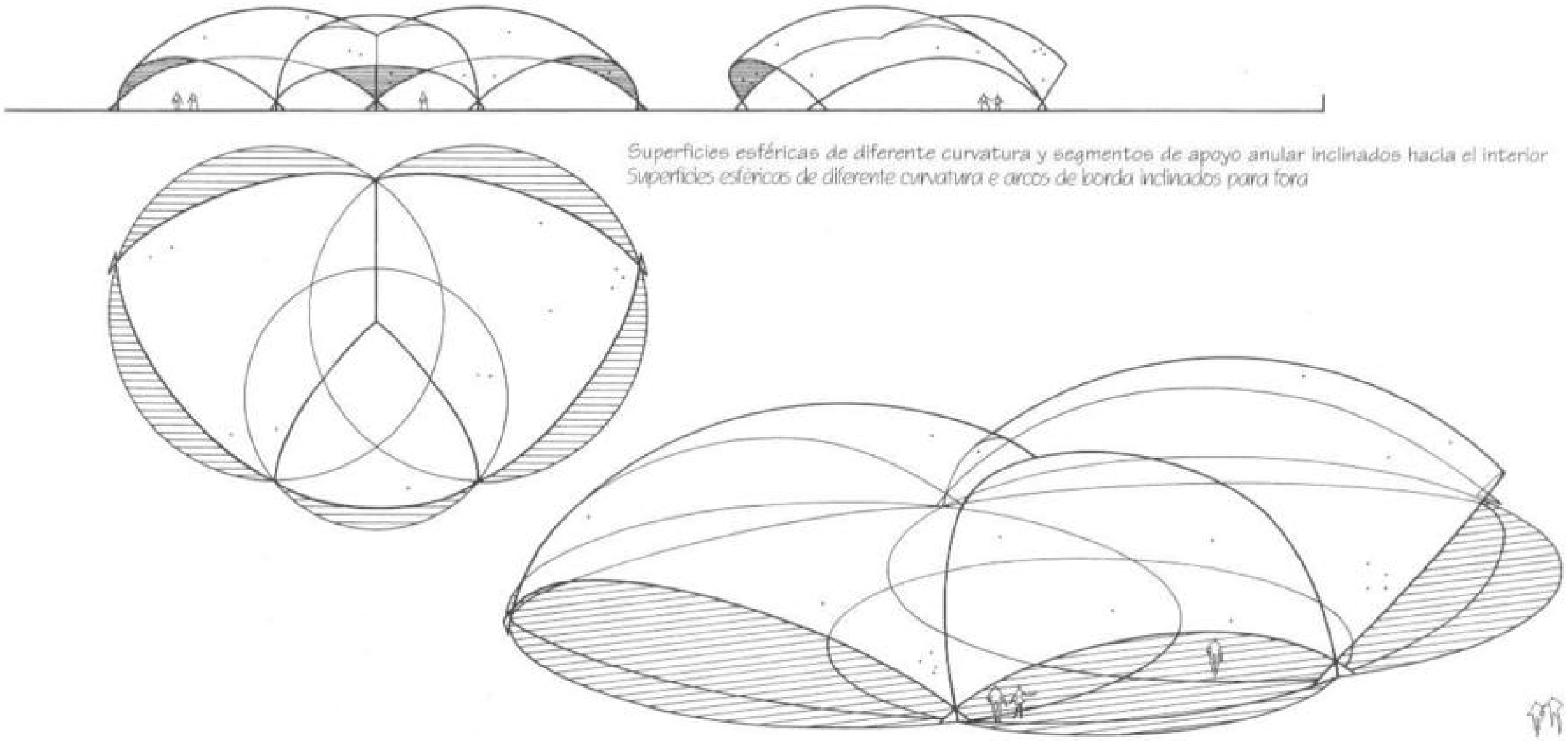
Sistemas de configuração espacial com três superfícies esféricas unidas em água furtada



Superficies esféricas de igual curvatura y segmentos de apoyo anular inclinados
Superfícies esféricas de igual curvatura e segmentos inclinados com base anular

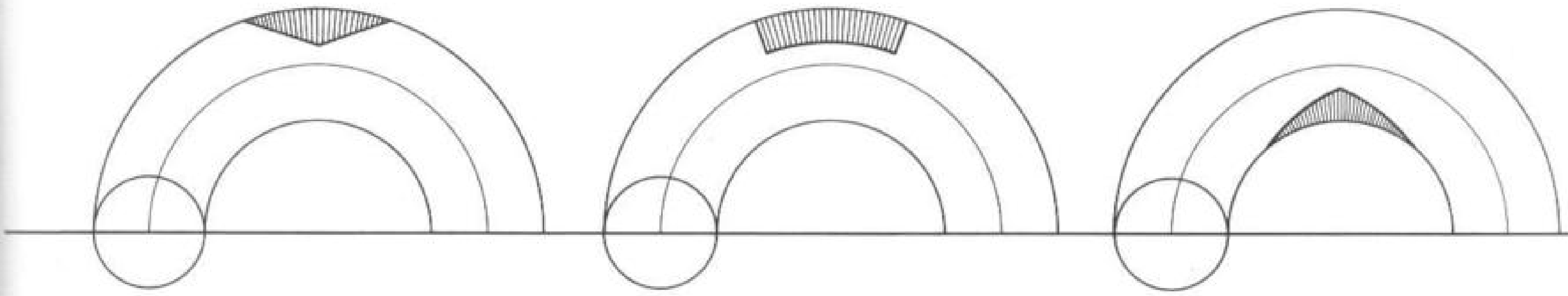


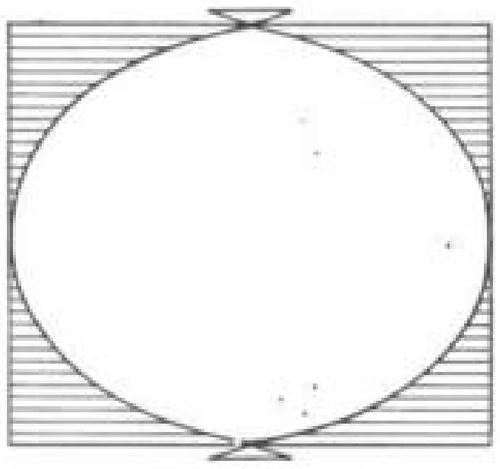
Superficies esféricas de diferente curvatura y segmentos de apoyo anular inclinados hacia el interior
Superfícies esféricas de diferente curvatura e arcos de borda inclinados para fora



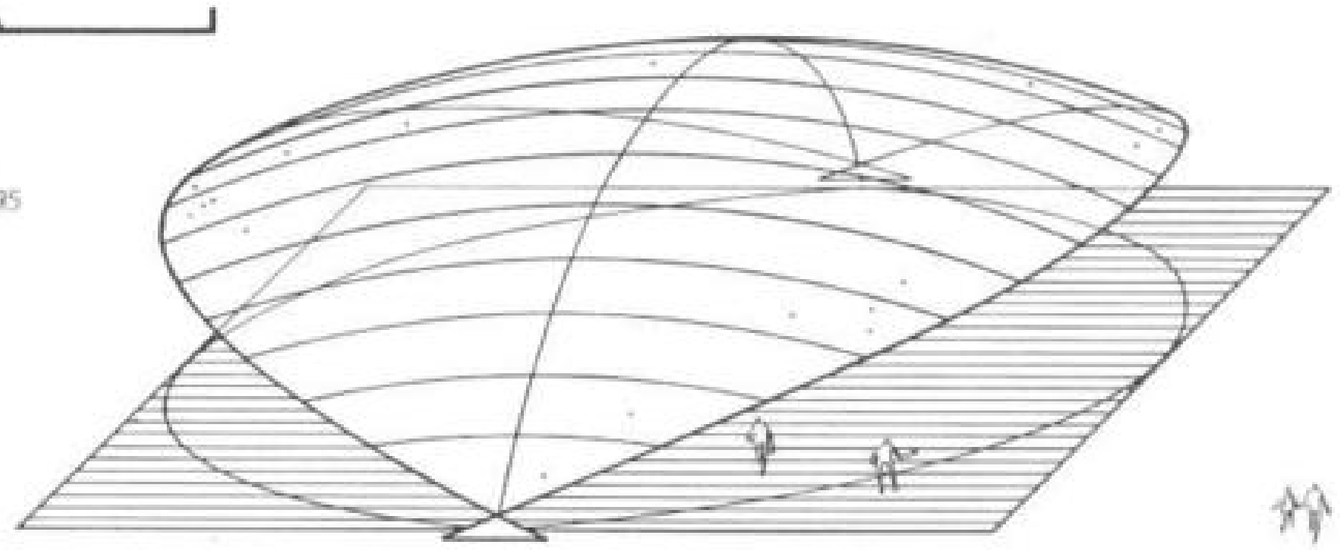
## Secciones toroidales para plantas de geometría especial

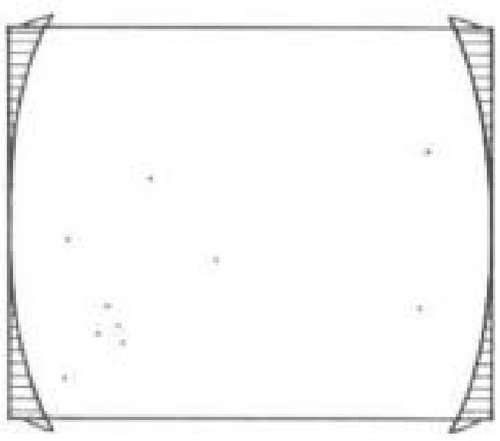
## Seções toróides para plantas geométricas especiais



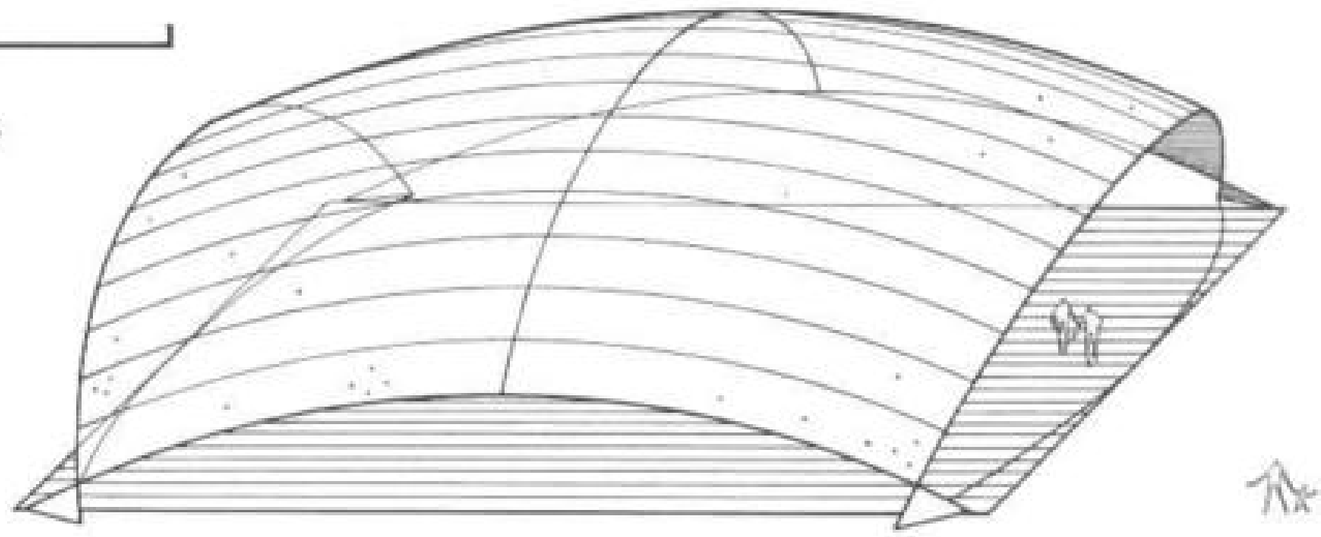


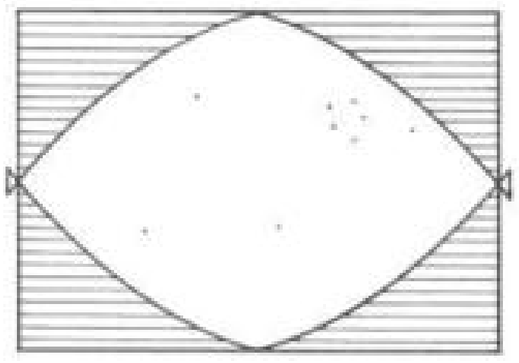
Sección oval con curvaturas descendentes de igual dirección
Seção oval com curvaturas inclinadas para baixo



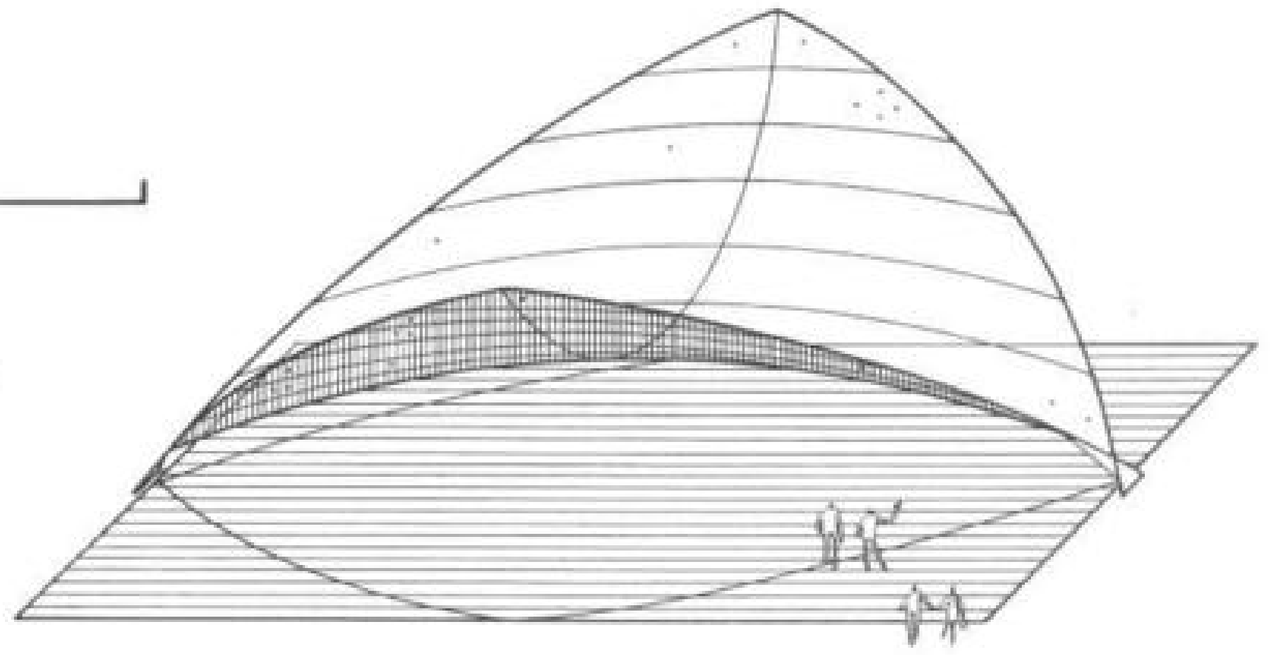


Sección rectangular con curvaturas descendentes de igual dirección
Seção quadrangular com curvaturas inclinadas para baixo





Sección romboidal con curvaturas de dirección opuesta
Seção rômbica com curvaturas opostas

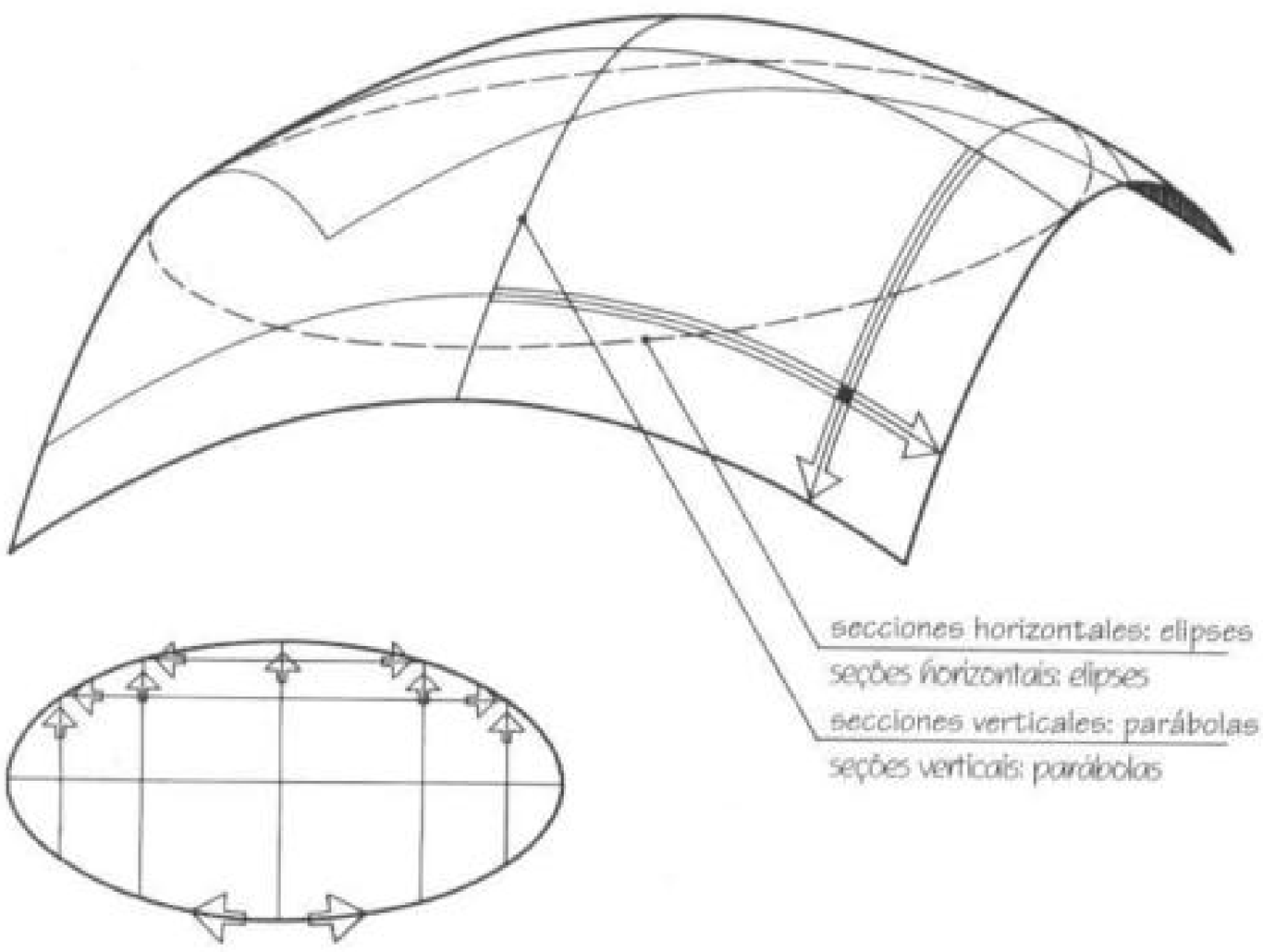


## Geometría y mecanismo portante de las membranas de traslación

*Generación de la superficie: una superficie de traslación se genera haciendo girar una curva plana (generatriz), en paralelo a ella misma, alrededor de otra curva plana (directriz), cuyo plano suele ser perpendicular a la generatriz.*

## Geometria e mecanismo portante das cascas de translação

*Geração da superfície: uma superfície de translação é gerada pelo movimento de uma curva plana (geratriz) paralela a si mesma ao longo de outra curva plana (diretriz), que usualmente se encontra em plano perpendicular ao plano da geratriz.*

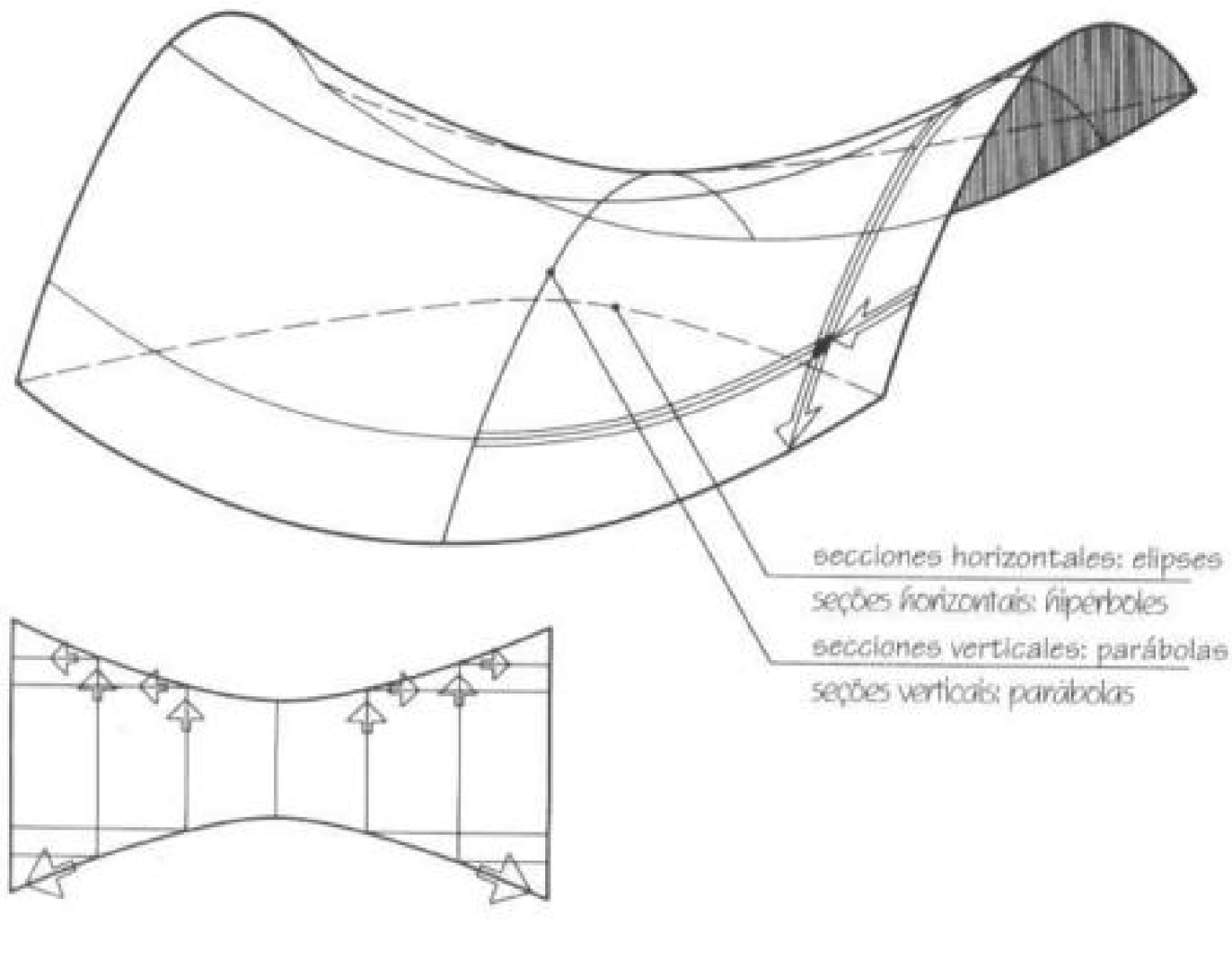



Paraboloide elíptico — *Paraboloide elíptico*

superficie sinclástica (=curvatura de igual dirección)
*superfície sinclástica (= curvaturas na mesma direção)*

Las cargas se transmiten a través de dos ejes a los bordes por mecanismo de arco. Por lo tanto, los bordes se han de rigidizar para poder absorber el empuje de los arcos. Si el perímetro inferior es horizontal, el borde ha de absorber la resultante de los esfuerzos de los arcos según los dos ejes. Como su forma (elipse) se aproxima al arco funicular que corresponde al peso propio de las fuerzas horizontales, apenas hay flexión en la viga de borde.

*As cargas são transmitidas aos arcos de borda por meio de mecanismo de arco em dois eixos. As bordas, portanto, vão receber os empuxos do arco, e devem ser reforçadas adequadamente. No caso da extremidade horizontal da borda inferior, esta deve receber as resultantes das forças do arco de ambos os eixos. Por causa da sua forma (elíptica) aproximar-se da curva funicular de tração para as componentes horizontais resultantes do peso próprio, a viga de borda permanece amplamente isenta de tração.*




Paraboloide hiperbólico — *Paraboloide hiperbólico =hp*

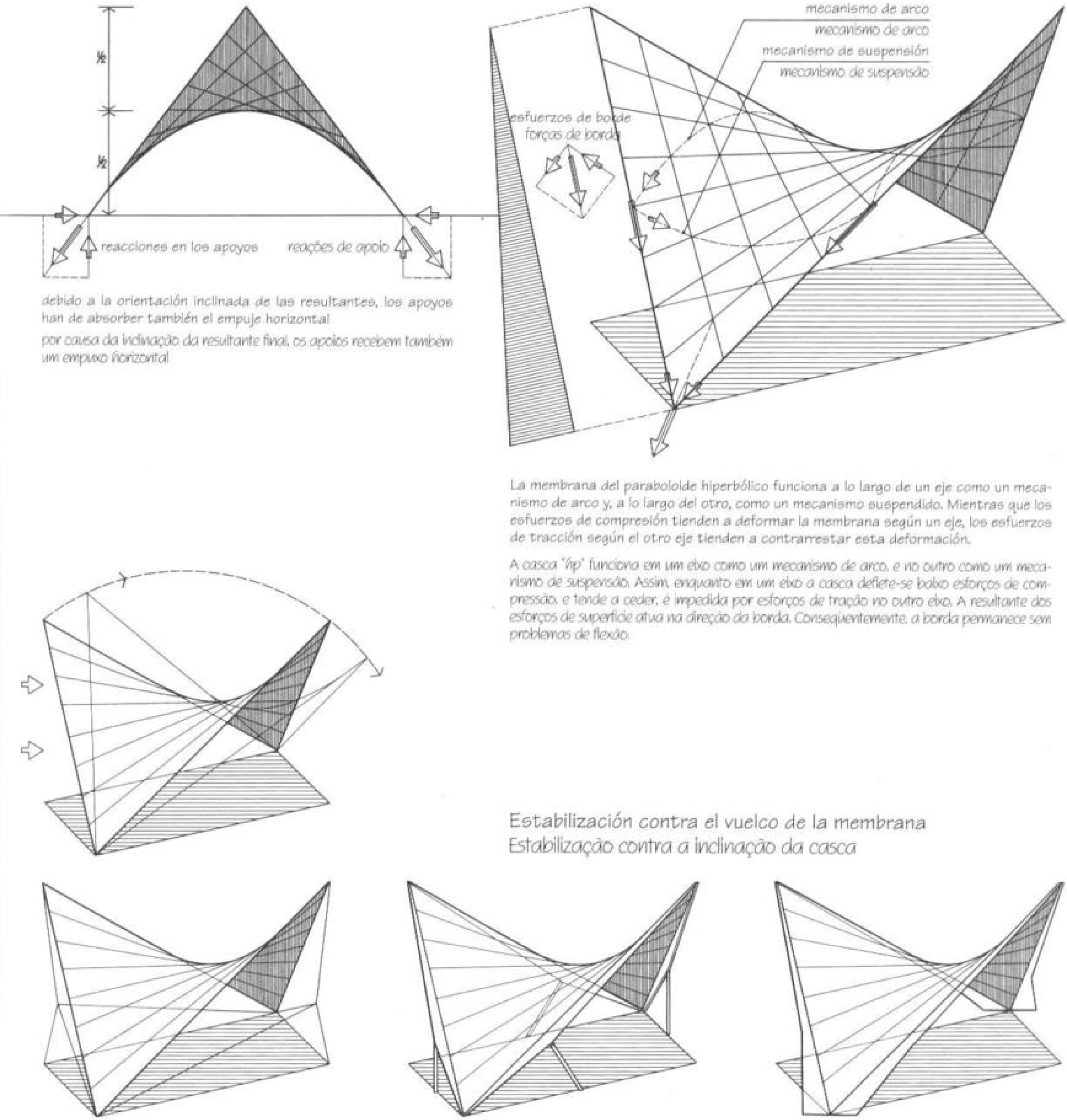
superficie anticlástica (en silla de montar; curvatura de dirección opuesta)
*superfície anticlástica (sela; curvaturas em direções opostas)*

Las cargas se transmiten a los bordes por mecanismo de arco según un eje y por suspensión según el otro. Por lo tanto, el borde debe absorber el empuje del arco según un eje y la tracción de la suspensión según el otro. Si el perímetro inferior es horizontal, el borde debe absorber la resultante del empuje y de la tracción. Debido a su forma de arco (hipérbola) la viga de borde puede transmitir estos esfuerzos horizontales a las esquinas sin apenas flexión.

*As cargas são transmitidas aos arcos de borda através de um mecanismo de arco em um eixo e mecanismo de suspensão no outro. As bordas devem receber, portanto, o empuxo do arco em um eixo e a tração de suspensão no outro. No caso de terminação horizontal da borda inferior, esta deve receber as resultantes do empuxo e da tração. Em razão da forma de seu arco, a viga de borda pode transmitir essas forças horizontais aos cantos sem maiores flexões.*

## Mecanismo portante de la superficie del paraboloide hiperbólico

## Mecanismo portante da superfície "hp" de borda reta




debido a la orientación inclinada de las resultantes, los apoyos han de absorber también el empuje horizontal

por causa da inclinação da resultante final, os apoios recebem também um empuxo horizontal

La membrana del paraboloide hiperbólico funciona a lo largo de un eje como un mecanismo de arco y, a lo largo del otro, como un mecanismo suspendido. Mientras que los esfuerzos de compresión tienden a deformar la membrana según un eje, los esfuerzos de tracción según el otro eje tienden a contrarrestar esta deformación.

A casca "hp" funciona em um eixo como um mecanismo de arco, e no outro como um mecanismo de suspensão. Assim, enquanto em um eixo a casca deflete-se baixo esforços de compressão, e tende a ceder, é impedida por esforços de tração no outro eixo. A resultante dos esforços de superfície ativa na direção da borda. Conseqüentemente, a borda permanece sem problemas de flexão.



## Estabilización contra el vuelco de la membrana
## Estabilização contra a inclinação da casca



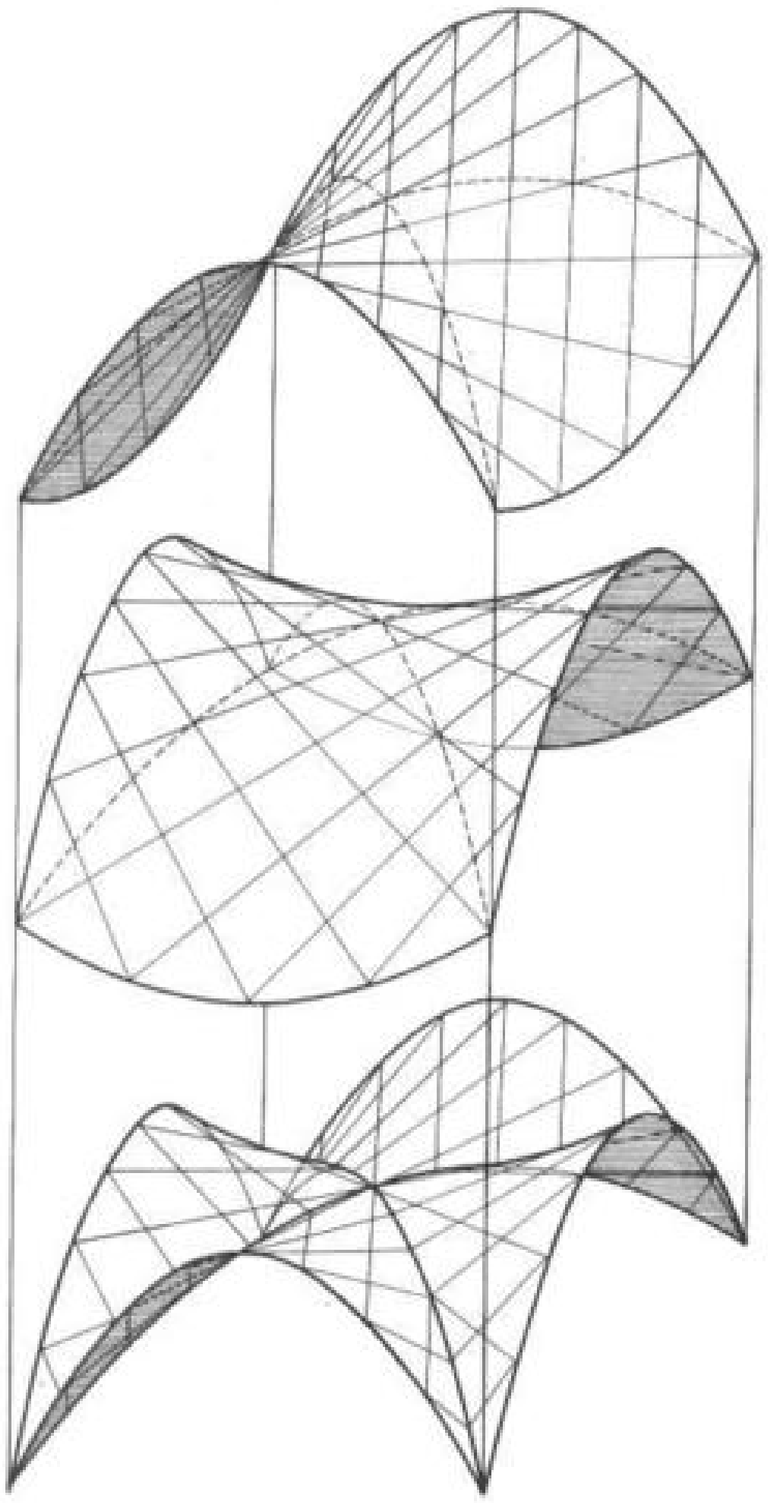
Atirantamiento con cables de los puntos más elevados
Ancoragem dos pontos altos com cabos



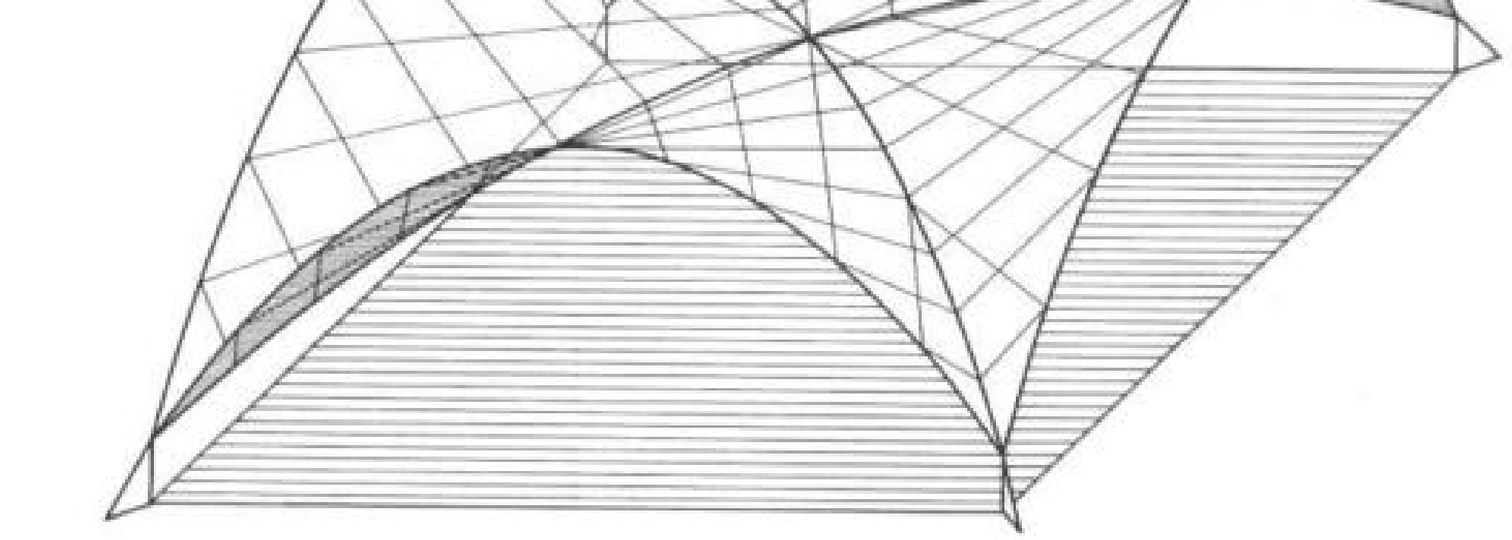
Apoyo de las vigas de borde sobre pilares
Suporte das vigas de borda com tirantes

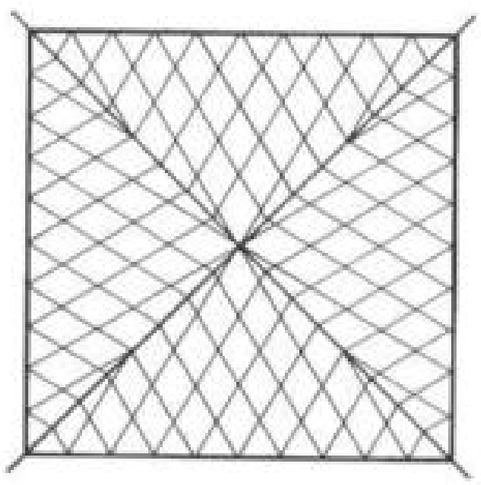


Conexión rígida de los puntos de apoyo en la cimentación
Conexão rígida dos pontos da base com a fundação

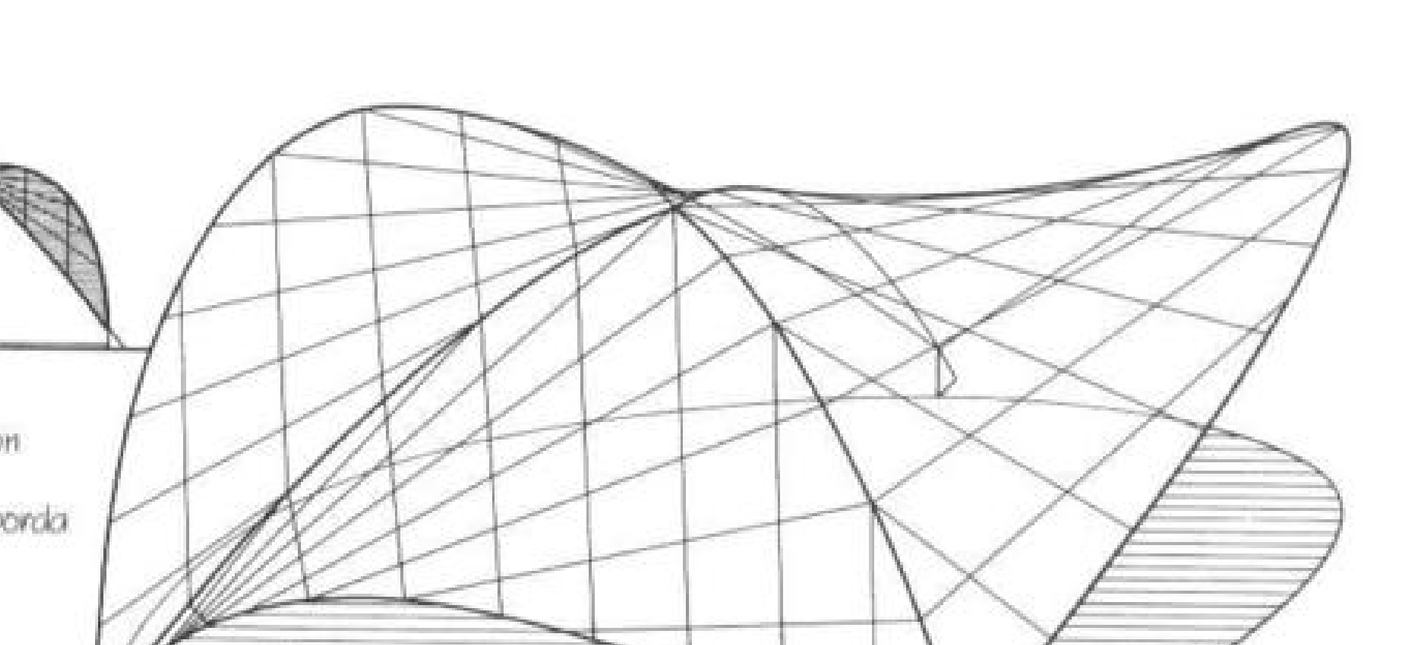


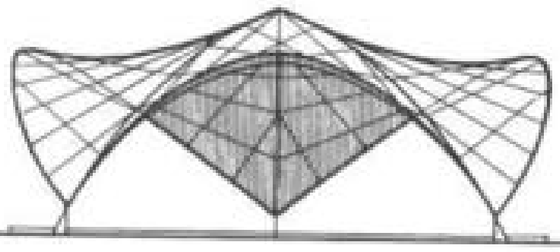
Sistemas estructurales formados a partir de la intersección de hiperboloides parabólicos con bordes curvos
Sistemas estruturais compostos por interseção de superfícies "hp" com bordas curvas

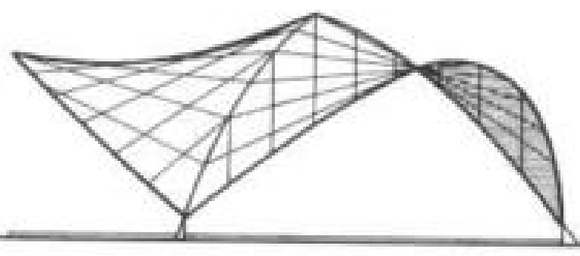




4 hiperboloides parabólicos con arcos verticales de borde
4 superficies "hp" com arcos de borda verticais



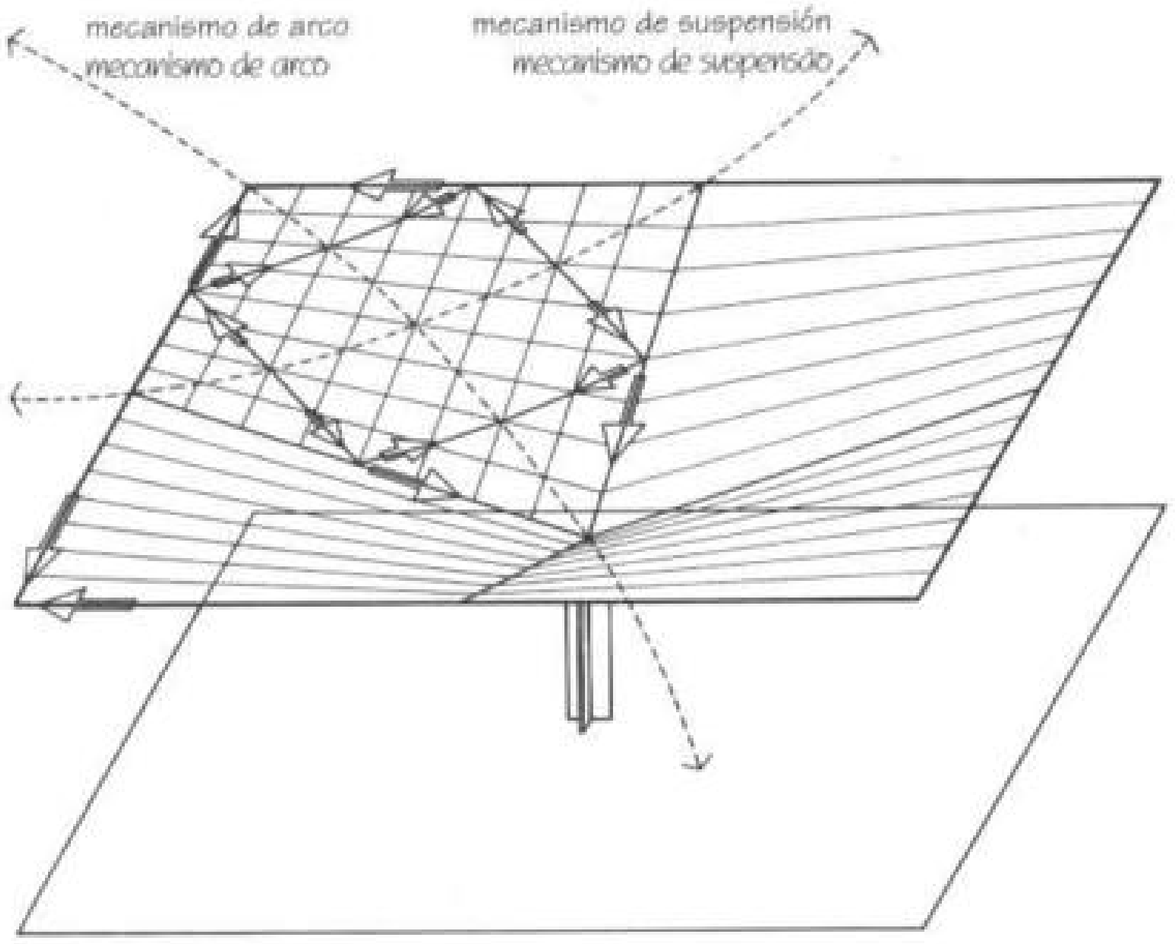




3 hiperboloides parabólicos con arcos inclinados de borde
3 superficies "hp" com arcos de borda inclinados

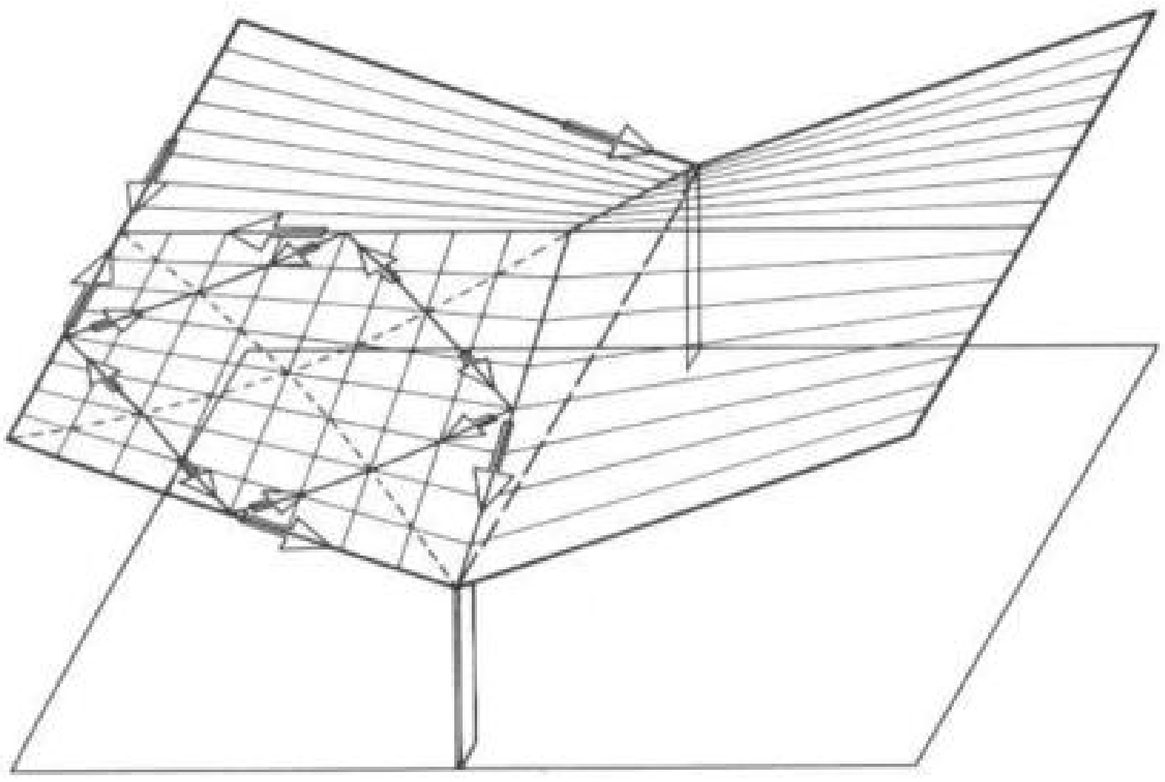
## Mecanismo portante de los sistemas formados por 4 hiperboloides parabólicos

## Mecanismo portante de sistemas compostos de quatro superfícies "hp"



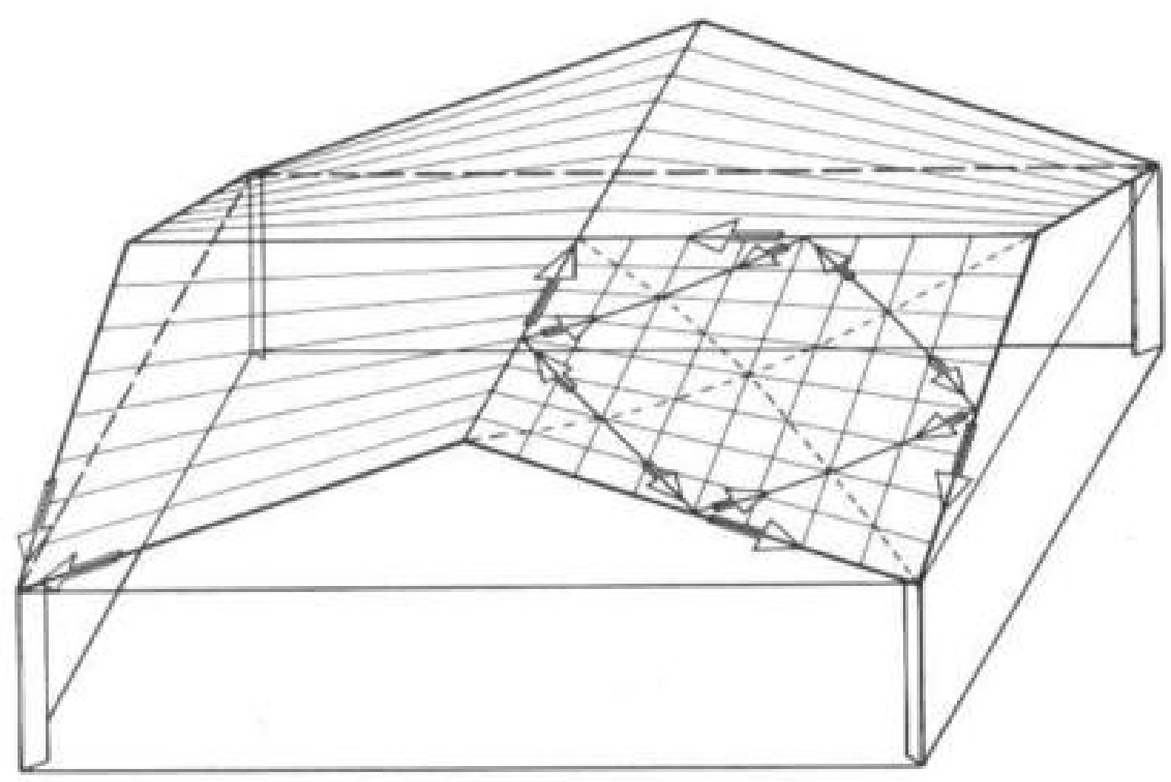

Las resultantes del mecanismo de arco y del mecanismo de suspensión someten a los bordes a tracción y a la limahoya a compresión. En el apoyo, las componentes horizontales de las resultantes finales se contrarrestan mutuamente.

As resultantes do mecanismo de arco e do mecanismo de suspensão esforçam as bordas com tração e as dobras da parte inferior com compressão. Nos apoios, as componentes horizontais das resultantes finais compensam-se umas às outras.



Las resultantes del mecanismo de arco y del mecanismo de suspensión someten a la limahoya a compresión y a la cumbrera a tracción. En los apoyos, una franja a tracción absorbe las componentes horizontales de las resultantes.

As resultantes do mecanismo de arco e do mecanismo de suspensão esforçam as bordas e as dobras inferiores com compressão, e a dobra da cumeeira com tração. Nos apoios, uma barra fixa recebe a componente horizontal da resultante.

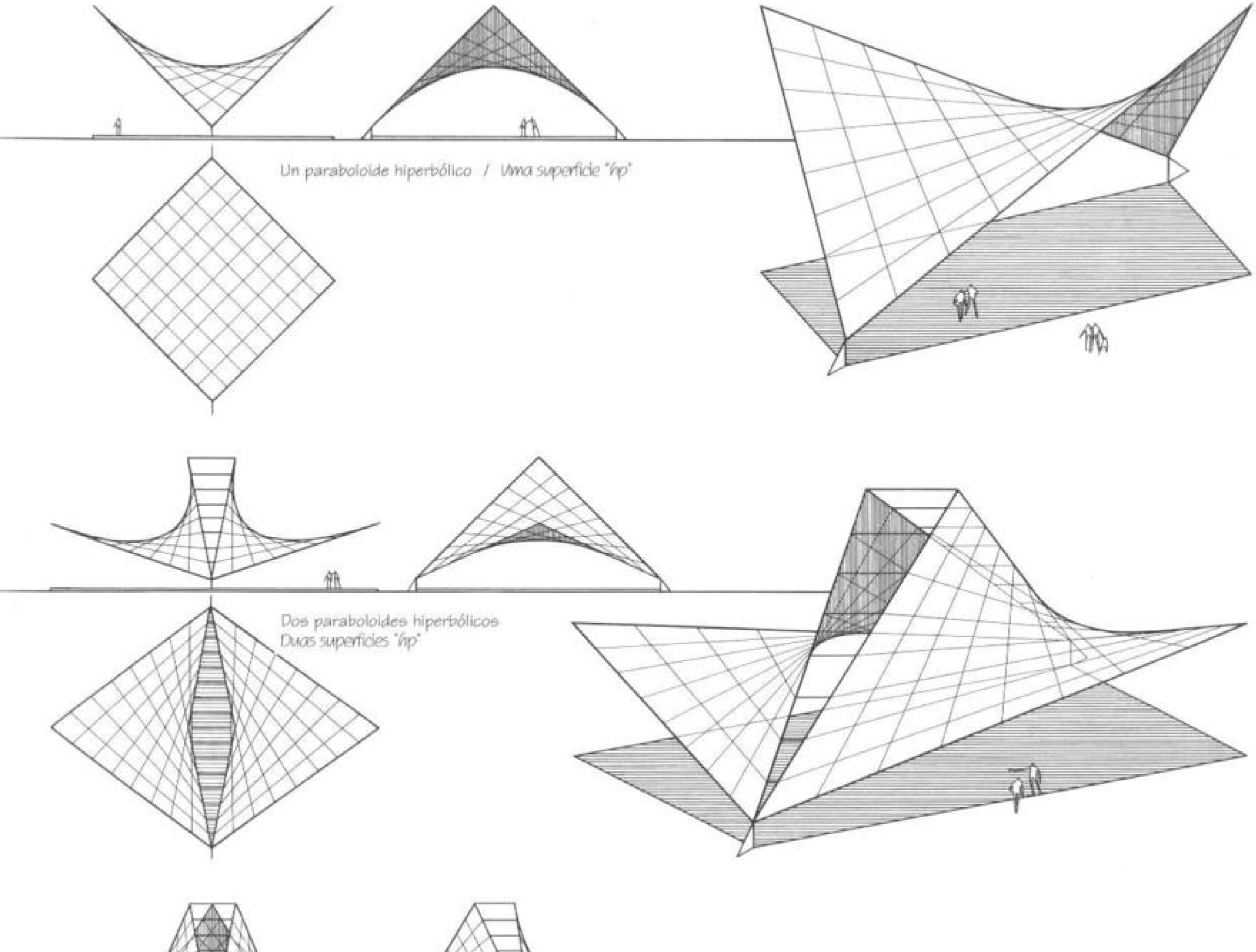


Las resultantes del mecanismo de arco y del mecanismo de suspensión solicitan tanto los bordes como la cumbrera a compresión. En los apoyos, una franja a tracción absorbe las componentes horizontales de las resultantes finales.

As resultantes do mecanismo de arco e do mecanismo de suspensão esforçam as bordas e as dobras da cumeeira com compressão. Nos apoios, as barras fixas recebem a componente horizontal da resultante final.

Sistemas estructurales formados por paraboloides hiperbólicos individuales de bordes rectos

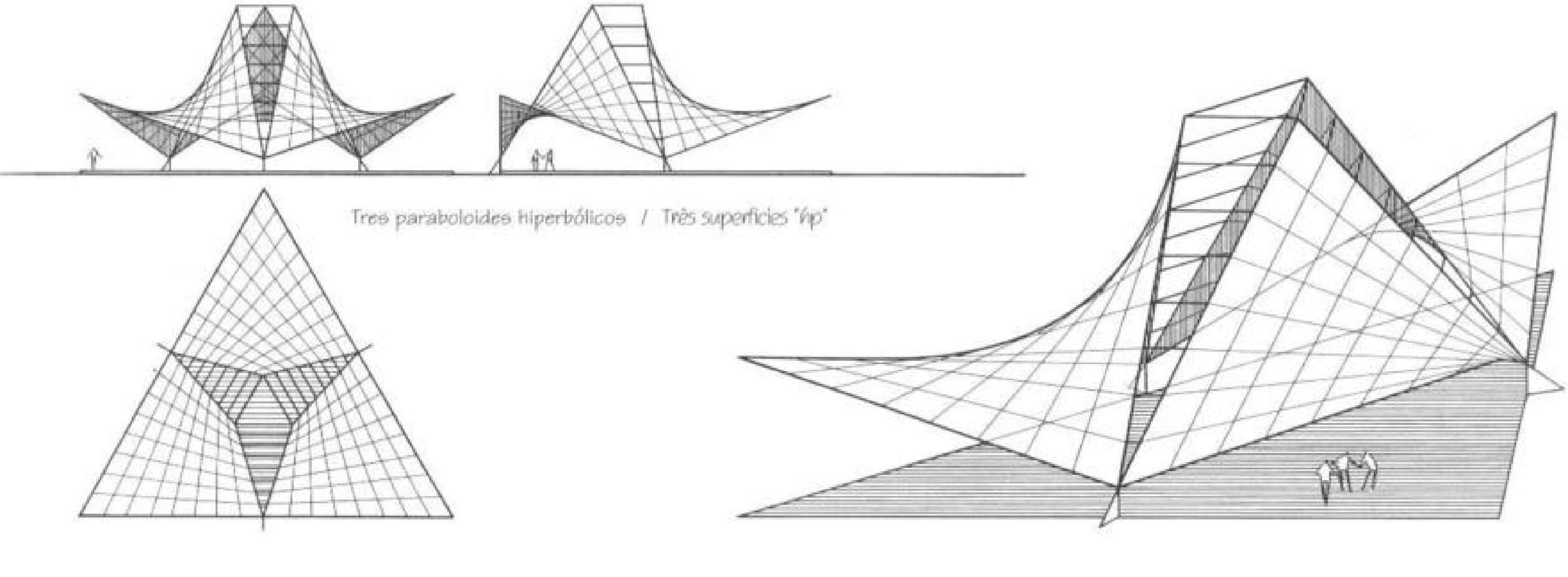
Sistemas estruturais compostos de superfícies "hp" simples de borda reta



Un paraboloide hiperbólico / Uma superfície "hp"



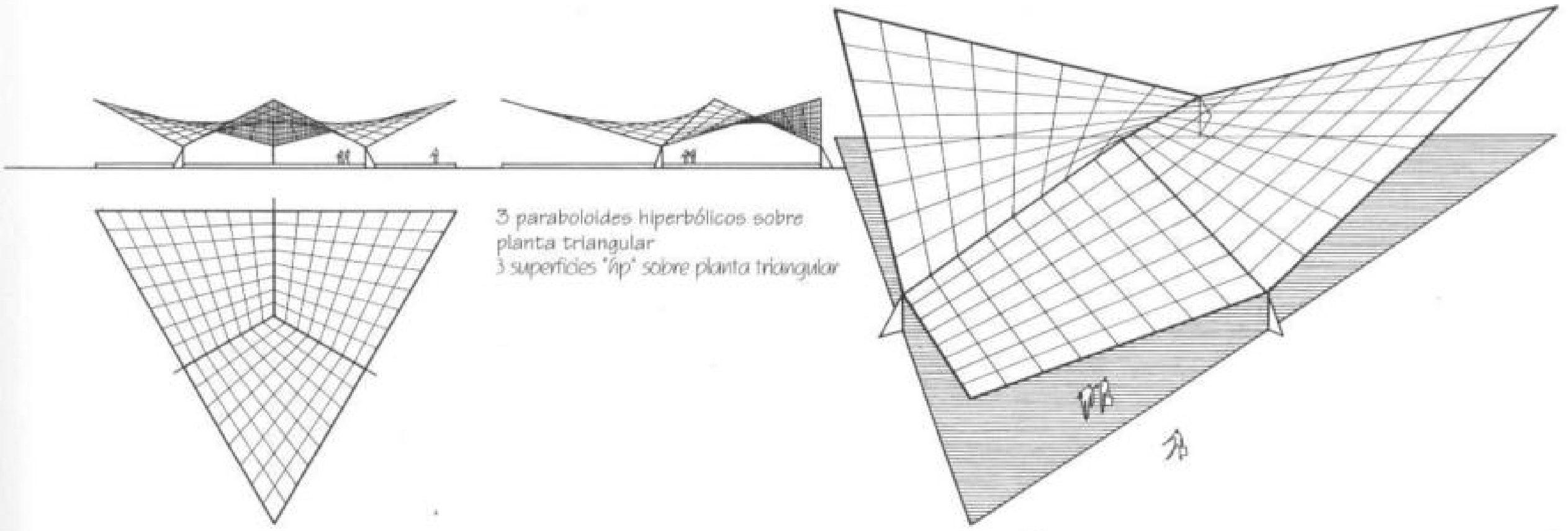
Dos paraboloides hiperbólicos
Duas superfícies "hp"



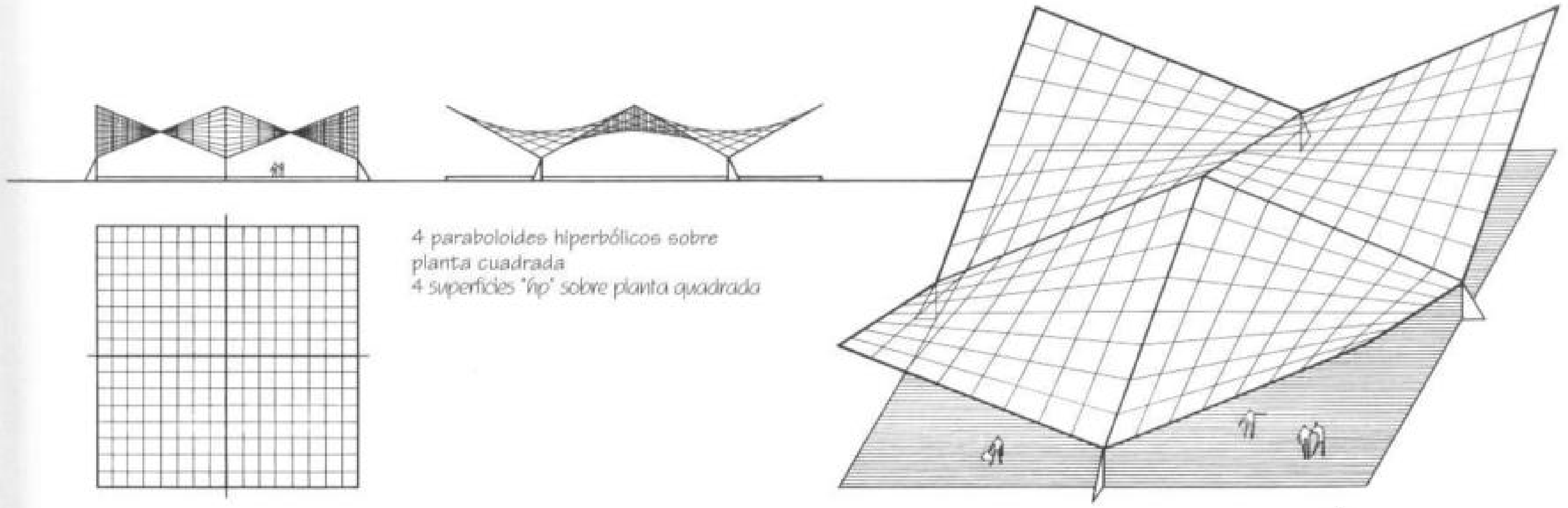
Tres paraboloides hiperbólicos / Três superfícies "hp"

## Sistemas estructurales formados a partir de la composición de paraboloides hiperbólicos de bordes rectos

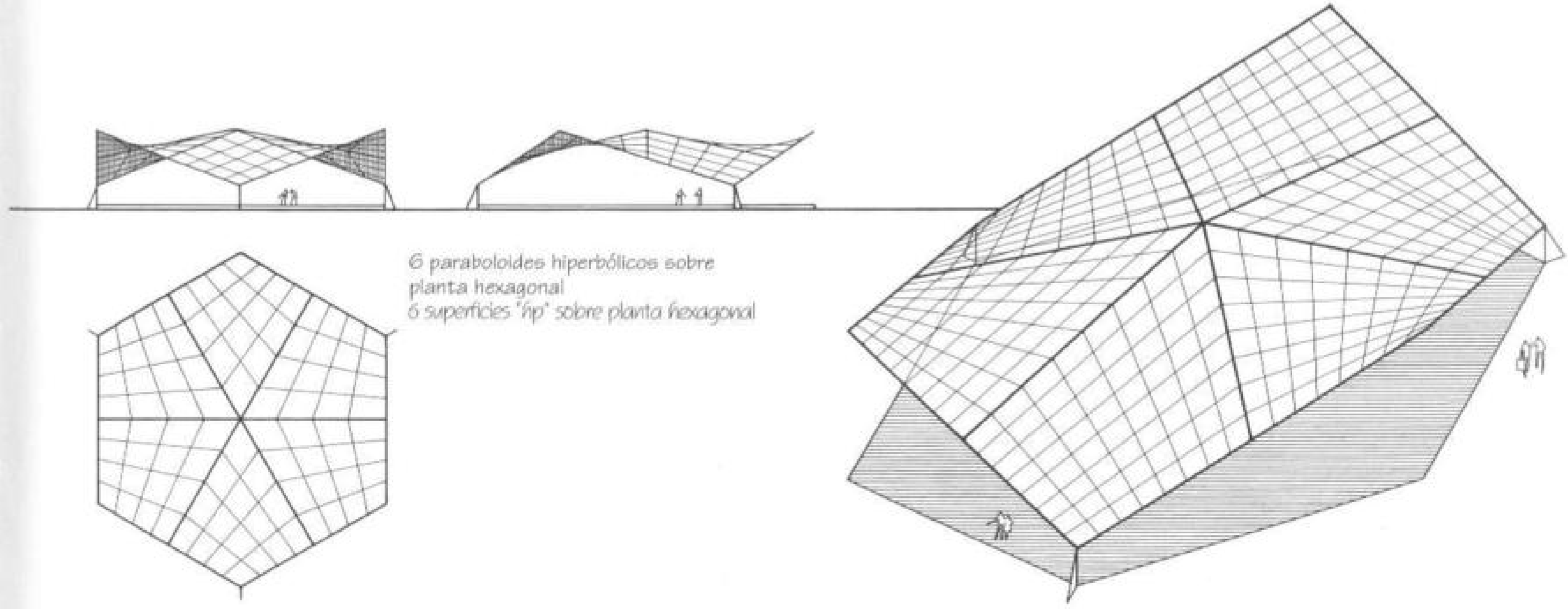
## Sistemas estruturais compostos de superfici "hp" de borda re



3 paraboloides hiperbólicos sobre planta triangular
3 superfícies "hp" sobre planta triangular

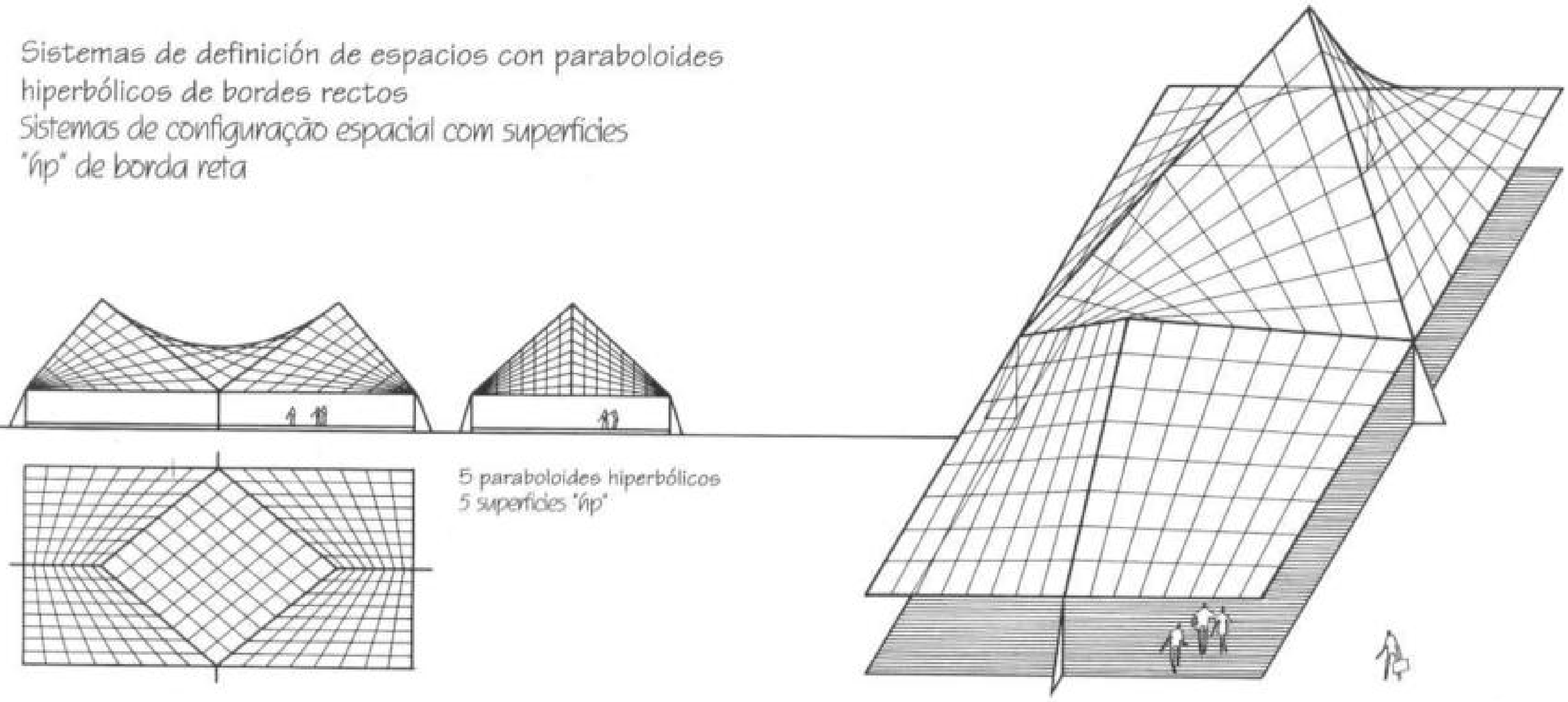


4 paraboloides hiperbólicos sobre planta cuadrada
4 superfícies "hp" sobre planta quadrada

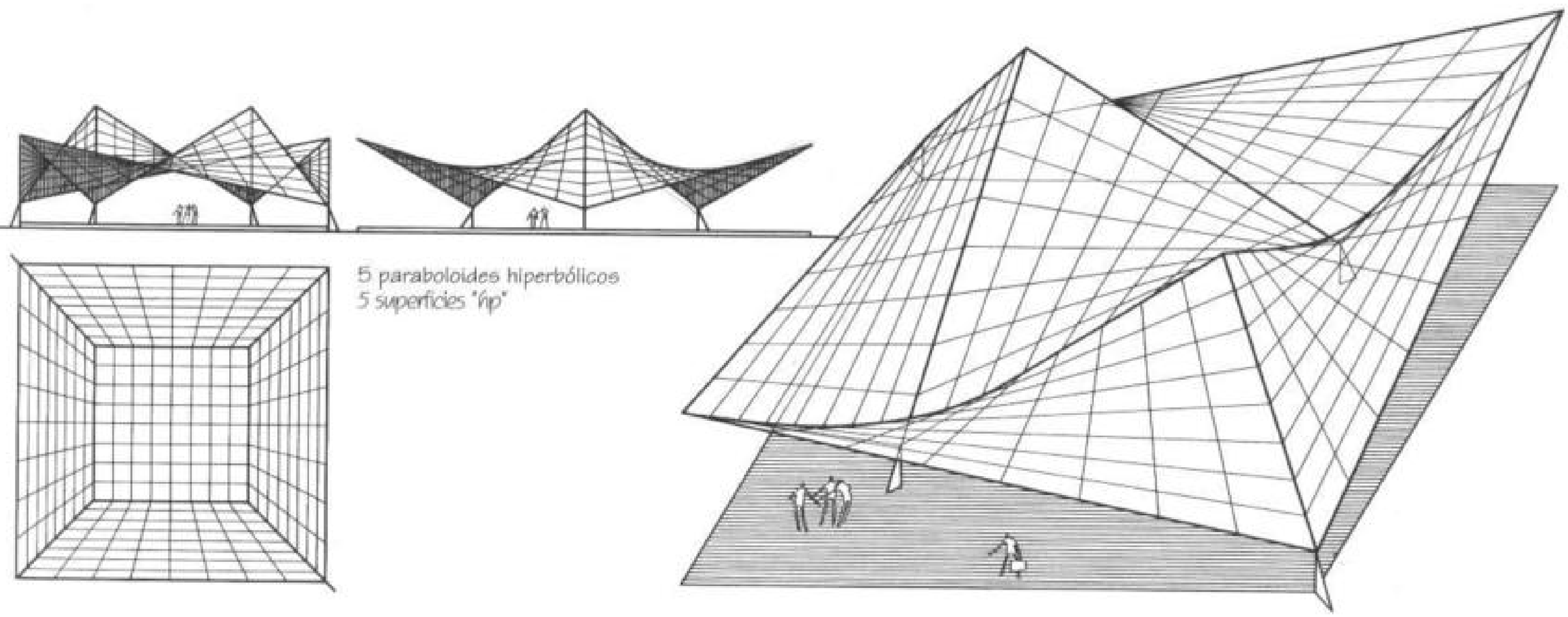


6 paraboloides hiperbólicos sobre planta hexagonal
6 superfícies "hp" sobre planta hexagonal

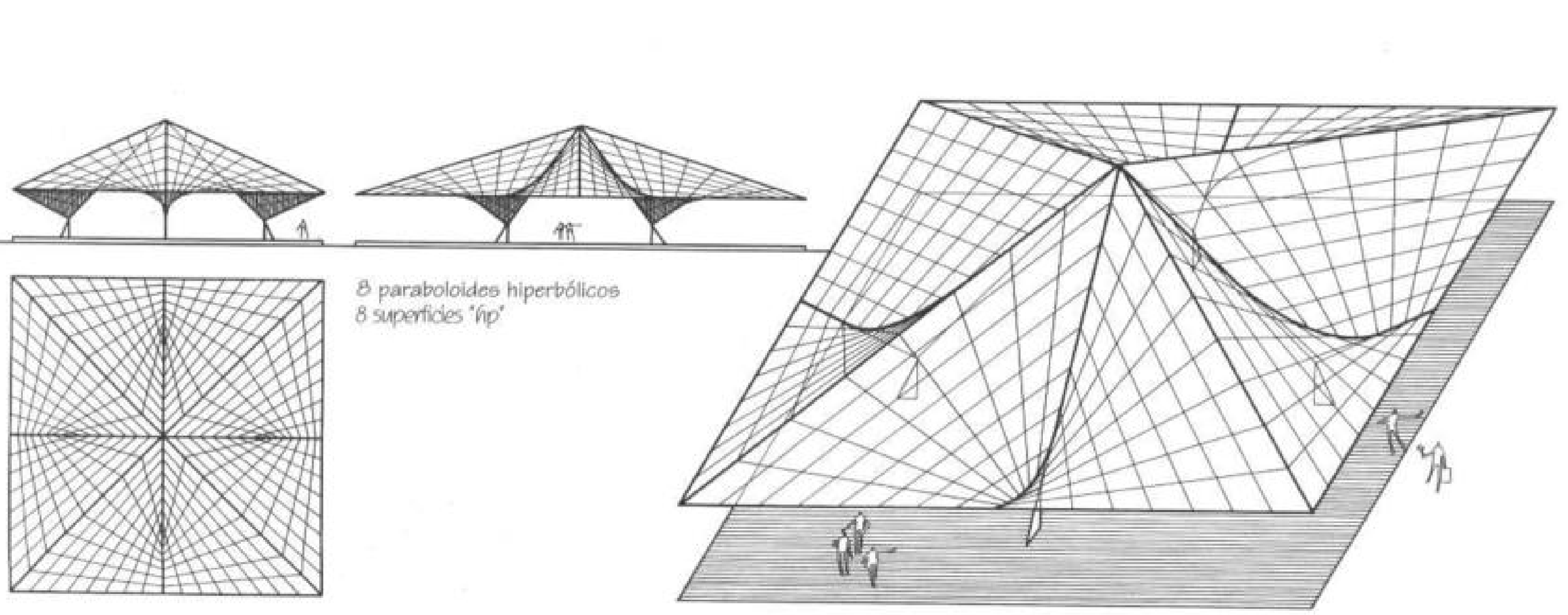
Sistemas de definición de espacios con paraboloides hiperbólicos de bordes rectos
Sistemas de configuração espacial com superficies "hp" de borda reta



5 paraboloides hiperbólicos
5 superficies "hp"

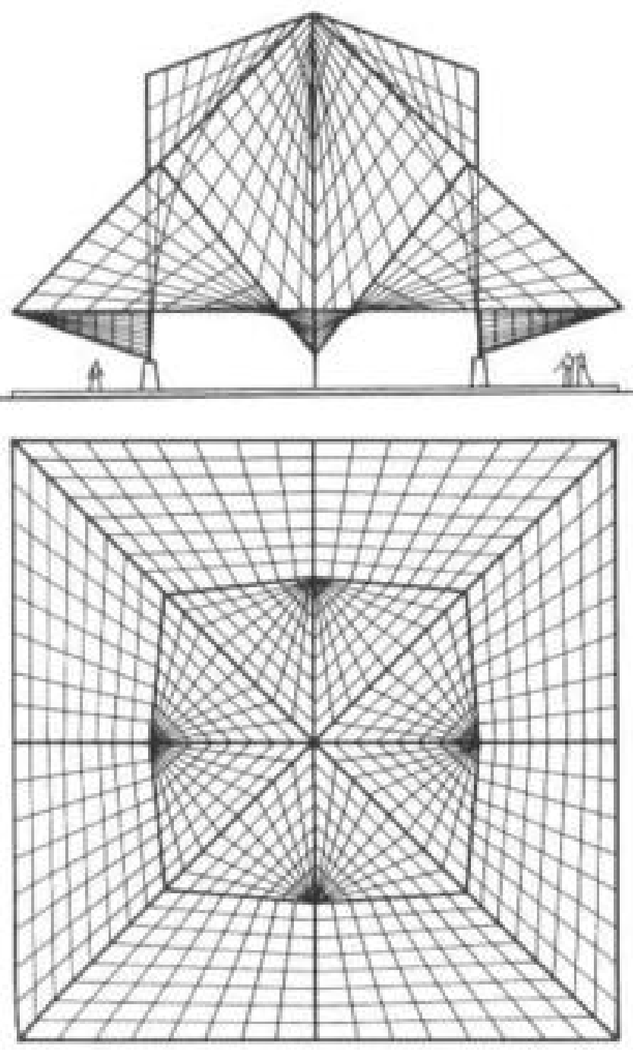


5 paraboloides hiperbólicos
5 superficies "hp"

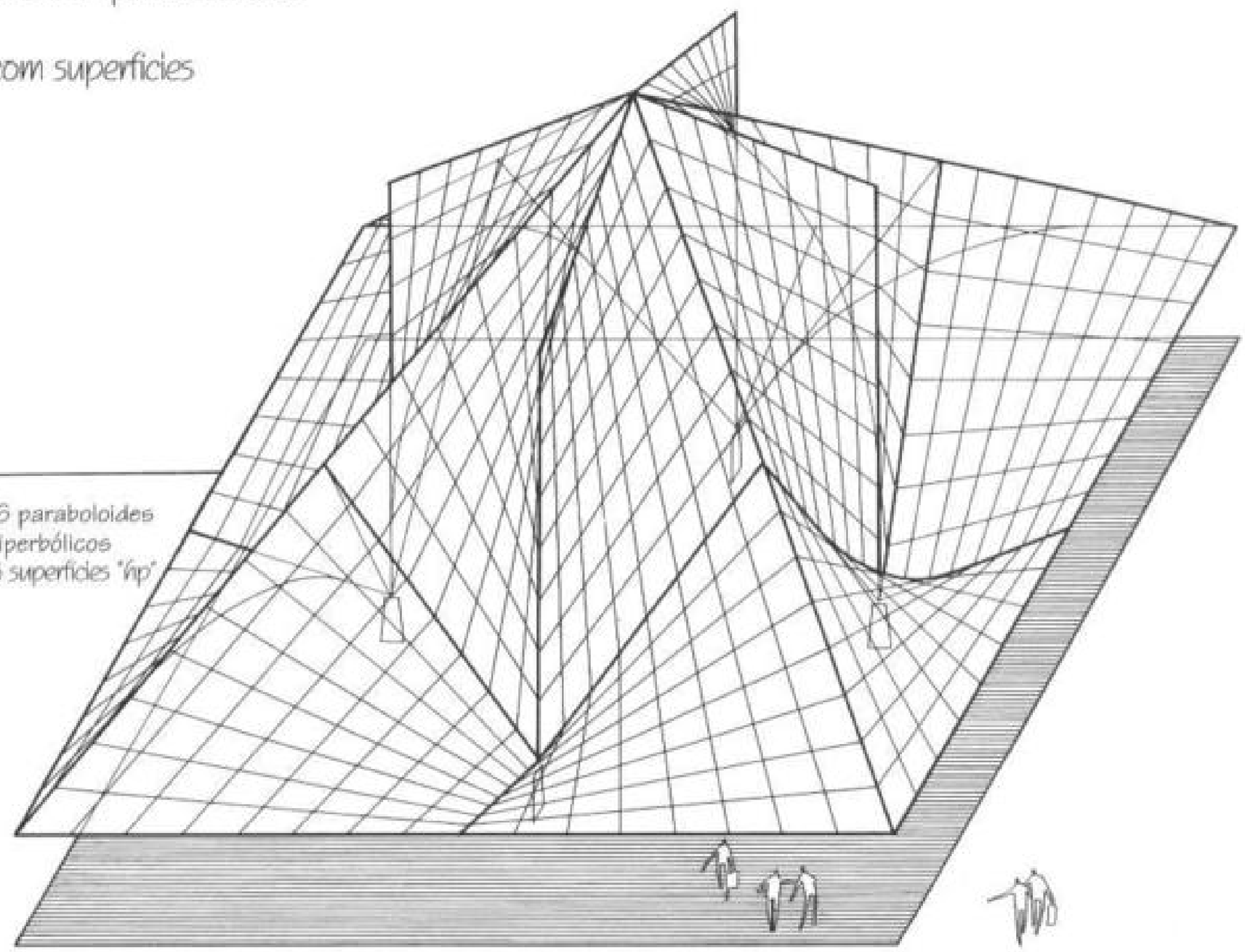


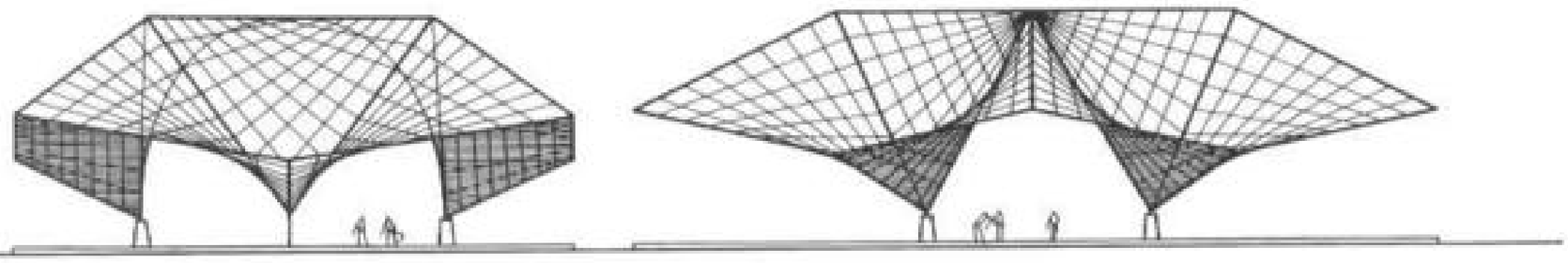
8 paraboloides hiperbólicos
8 superficies "hp"

Sistemas de definición de espacios con paraboloides hiperbólicos de bordes rectos
Sistemas de configuração espacial com superficies "hp" de borda reta

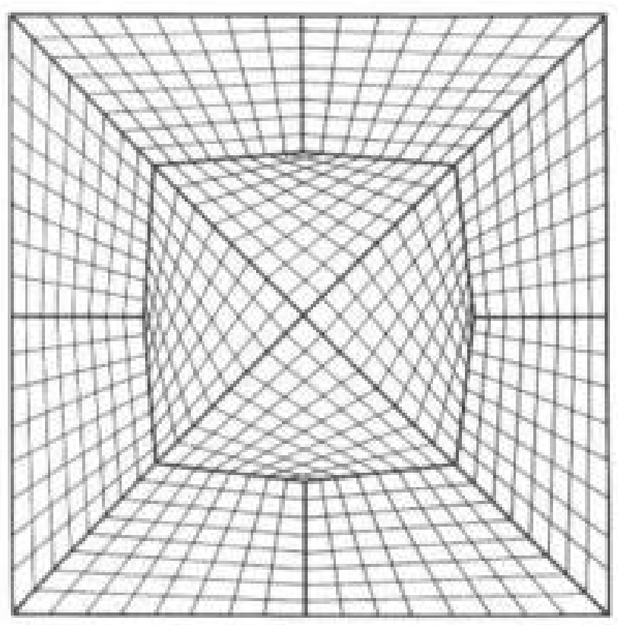


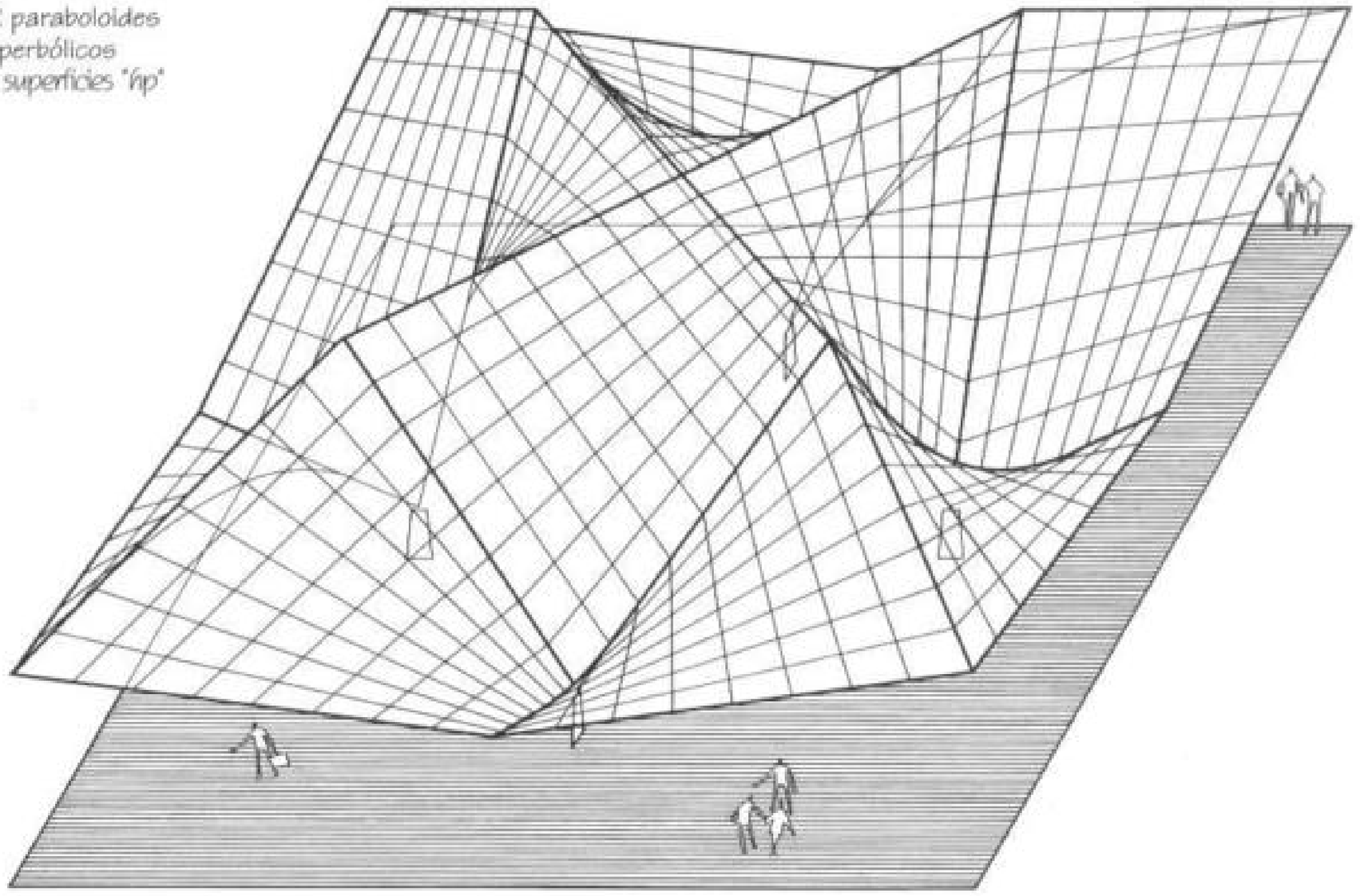
16 paraboloides hiperbólicos
16 superficies "hp"





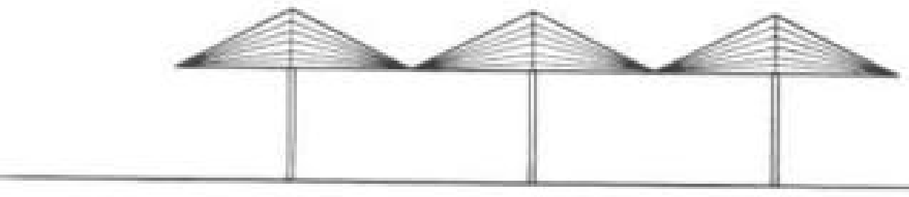
12 paraboloides hiperbólicos
12 superficies "hp"





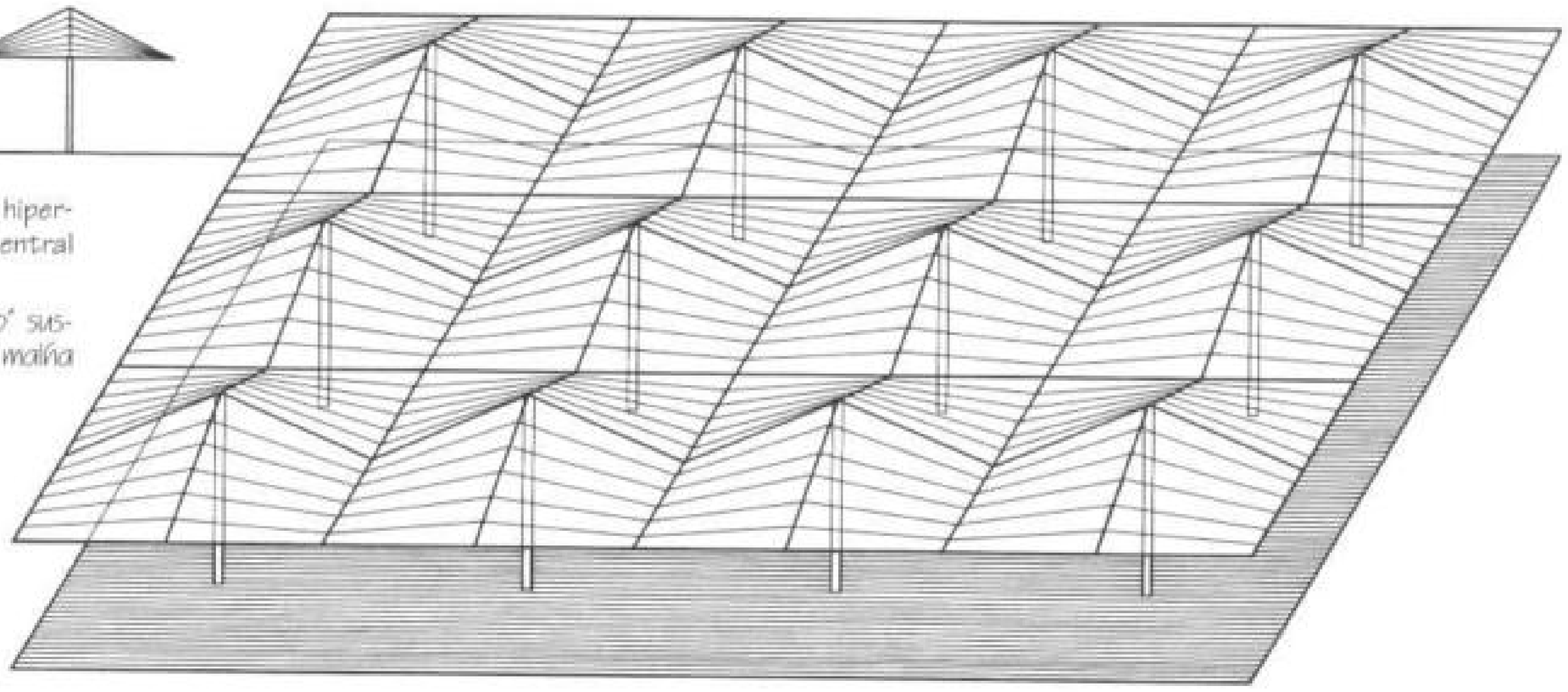
## Sistemas estructurales de paraboloides hiperbólicos para cubrir grandes espacios

## Sistemas estruturais "hp" para cobertura de grandes espaços



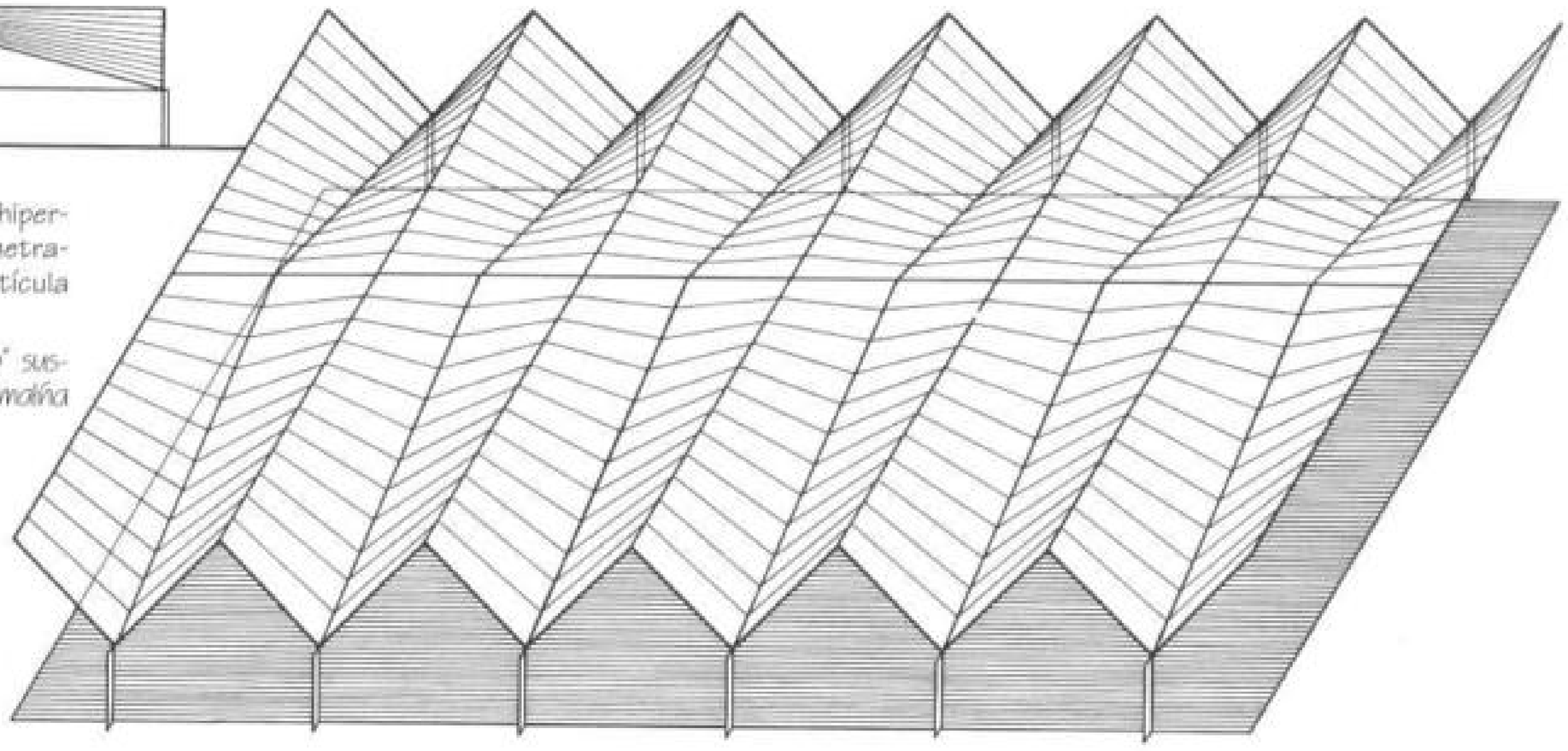
unidad formada por 4 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre un pilar central sobre una planta cuadrada

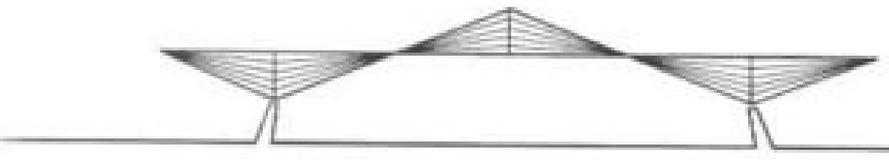
unidade formada por 4 superfícies "hp" sustentadas por um apoio central em uma malha quadrada



unidad formada por 4 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre pilares perimetrales con cable a tracción sobre una retícula rectangular

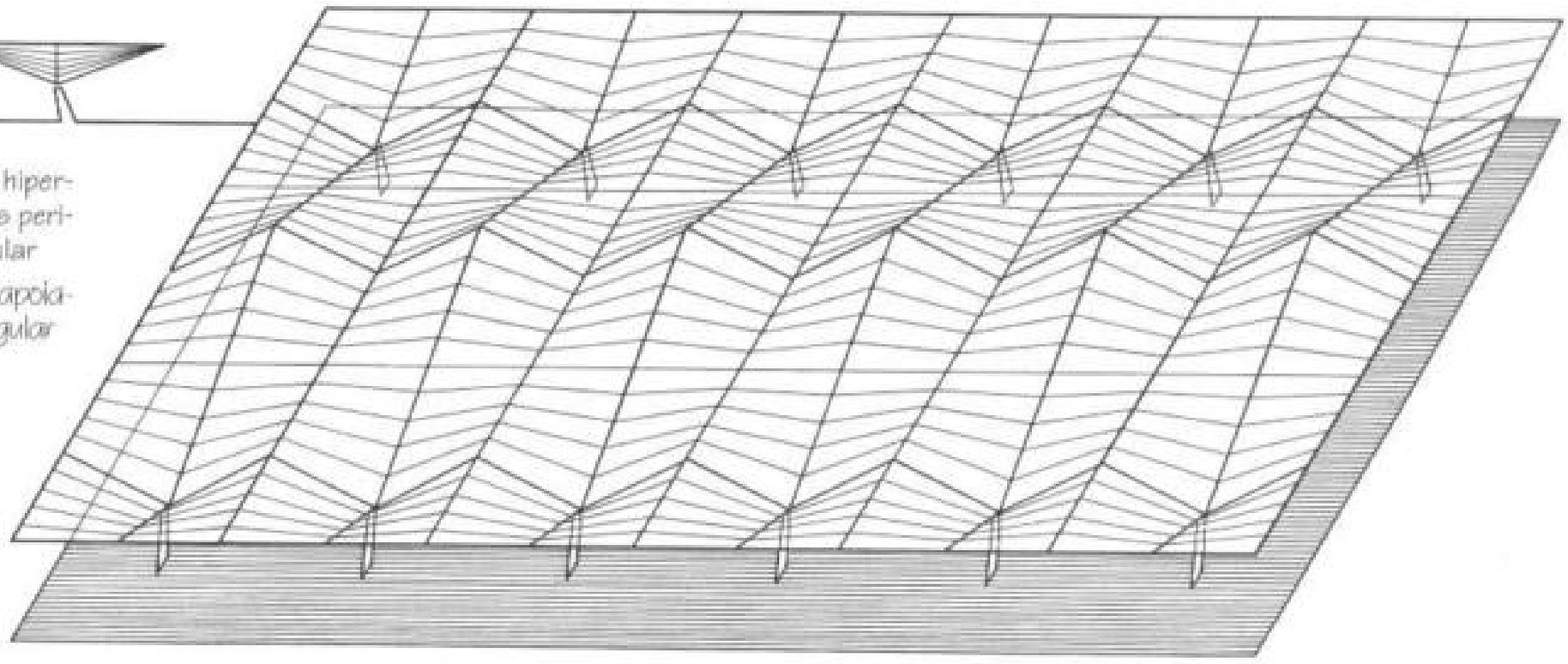
unidade formada por 4 superfícies "hp" sustentadas por apoios laterais em uma malha retangular





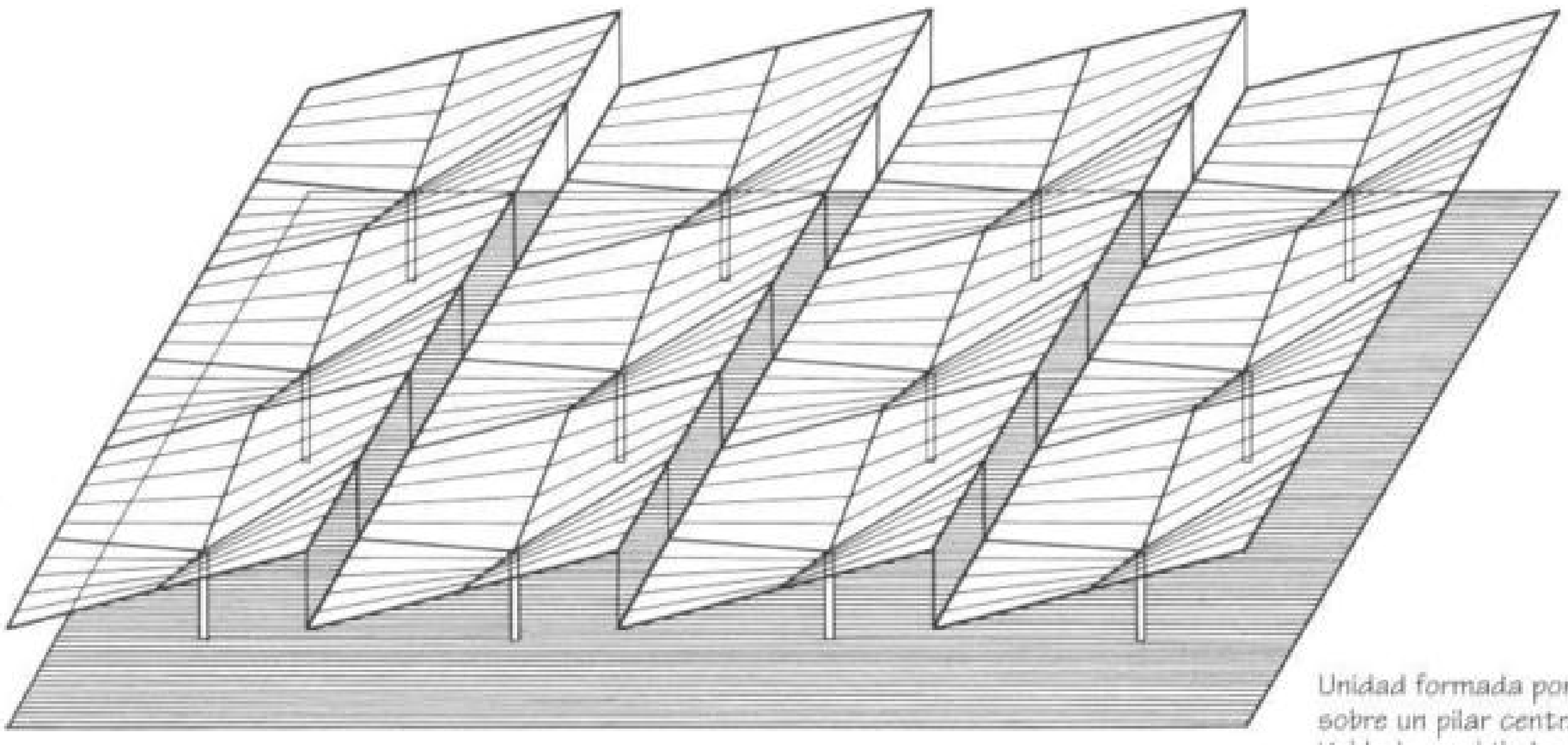
unidad formada por 8 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre contrafuertes perimetrales sobre una retícula rectangular

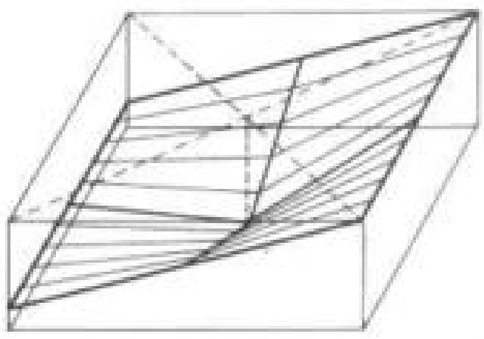
unidade formada por 8 superfícies "hp" apoiadas em contrafortes sobre malha retangular



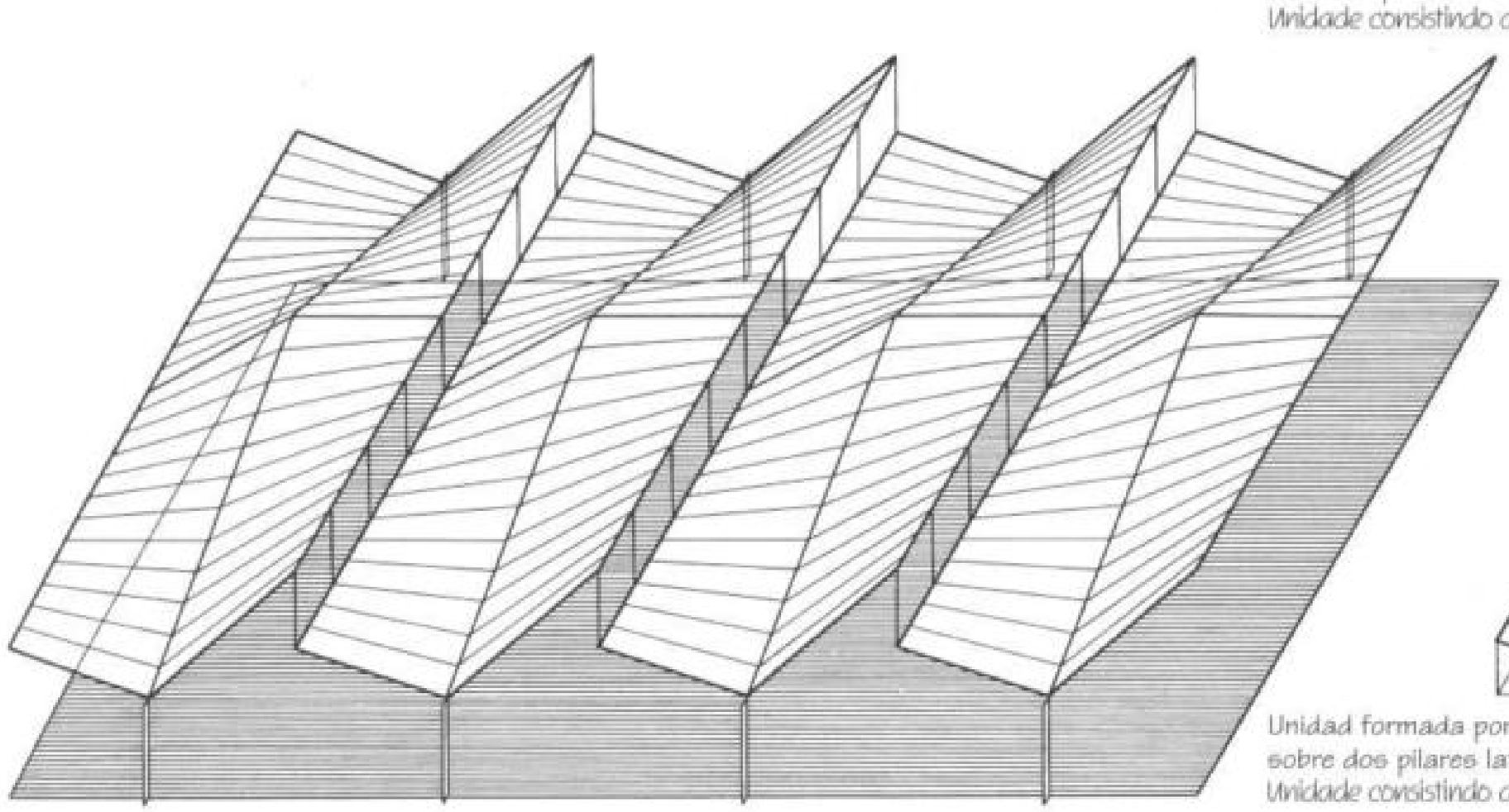
## Sistemas estructurales para grandes cubiertas con lucernarios

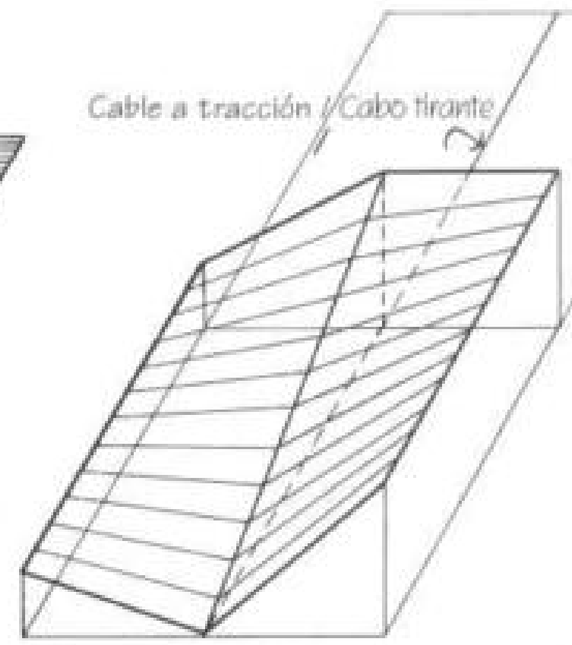
## Sistemas estruturais para cobertura de grandes vãos com faixas de janelas



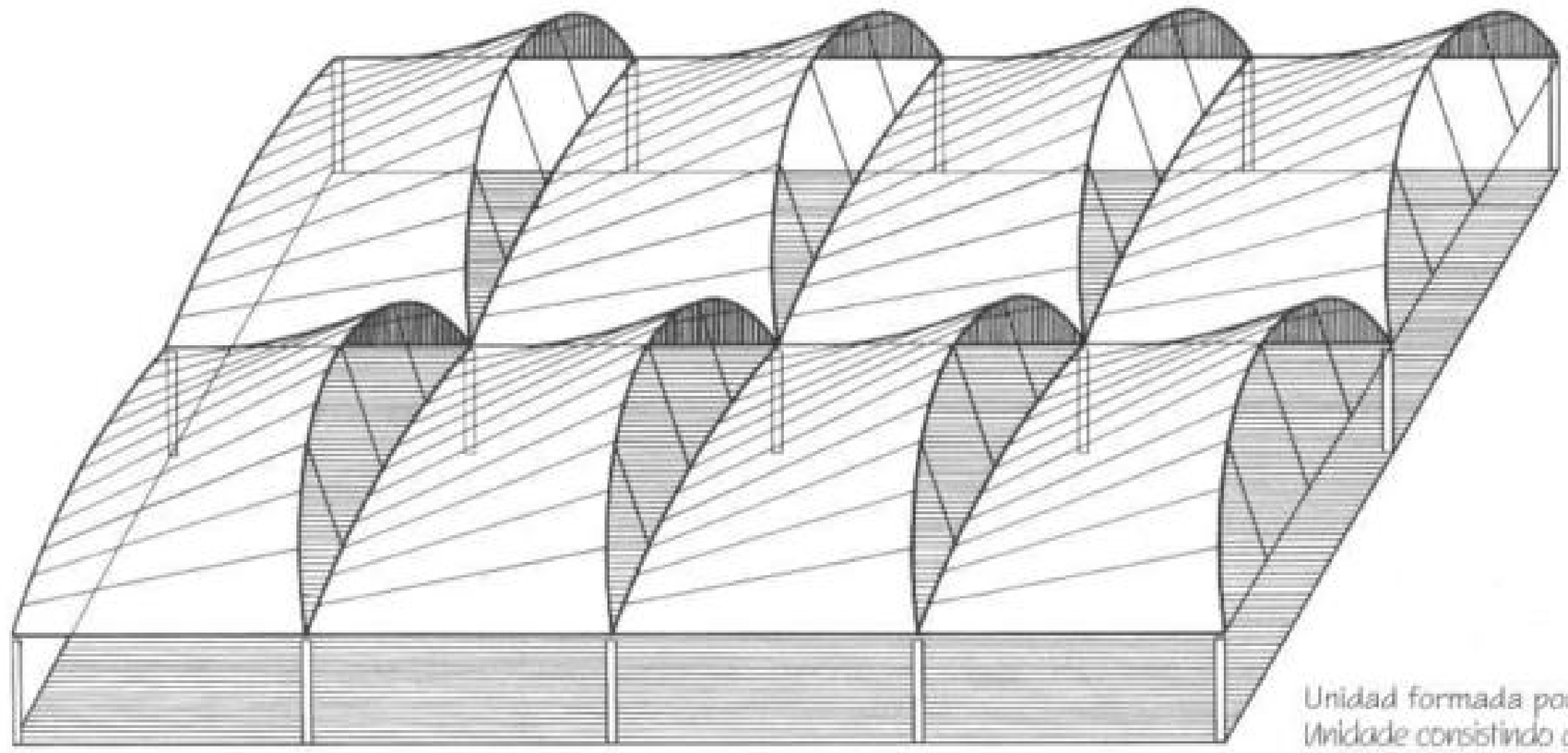


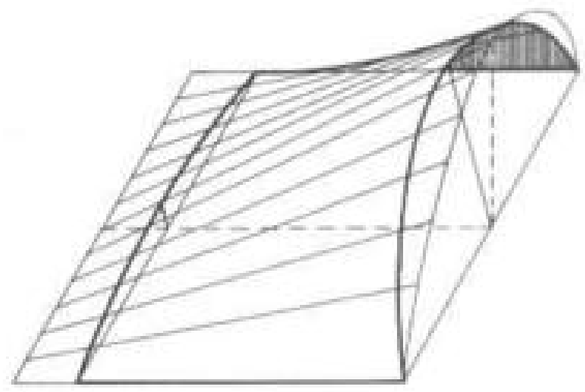
Unidad formada por 4 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre un pilar central
*Unidade consistindo de 4 superfícies "hp" sobre um apoio central*






Unidad formada por 4 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre dos pilares laterales
*Unidade consistindo de 4 superfícies "hp" sobre dois apoios laterais*





Unidad formada por un conoide apoyado sobre cuatro pilares de esq
*Unidade consistindo de uma superfície conoidal sobre quatro apoios de co*

# Sistemas de estructuras de altura activa
# Sistemas estruturais de altura-ativa

5

Los elementos sólidos y rígidos que se desarrollan principalmente en sentido vertical y están rigidizados frente a las cargas laterales y anclados firmemente a tierra, pueden recoger cargas sobre superficies útiles situadas a gran altura sobre el suelo y transmitirlas a la cimentación: sistemas de estructuras de altura activa, es decir, rascacielos.

Los sistemas portantes cuya tarea principal consiste en recoger cargas sobre planos horizontales situados unos encima de otros y transmitirlas verticalmente al suelo son sistemas de estructuras de altura activa, es decir, rascacielos.

Los rascacielos se caracterizan por el sistema especial de absorber y transmitir las cargas y por su rigidización lateral.

Para transmitir las cargas, los rascacielos utilizan los mecanismos de los sistemas de forma, vector y sección activa para transmitir las cargas. No poseen ningún mecanismo propio.

Los rascacielos no son una simple suma de sistemas de una planta y su comportamiento estructural tampoco puede explicarse como un gran voladizo colocado en vertical. Son sistemas homogéneos con problemas específicos y soluciones particulares.

Dada su extensión en altura y, por ello, su gran exposición a cargas horizontales, la rigidización lateral es un elemento esencial al proyectar sistemas de estructuras verticales. A partir de una determinada altura por encima del suelo, la transmisión de los esfuerzos horizontales puede convertirse en una característica que determine la forma del edificio.

Los sistemas de estructuras de altura activa son el instrumento y el orden estructural para la construcción de rascacielos. Por este motivo, son determinantes para conformar los edificios y ciudades más modernos.

Los rascacielos son un requisito y un medio para el aprovechamiento de la tercera dimensión en altura del urbanismo. Por lo tanto, en el futuro, el empleo de rascacielos no se limitará a edificios aislados, sino que se expandirá para hacer accesible el espacio urbano no sólo en altura, sino también en anchura.

Los rascacielos exigen la continuidad de los elementos que transmiten las cargas hasta el suelo y, por ello, la concordancia de los puntos de concentración de cargas en cada planta. Por consiguiente, la distribución de los puntos de concentración de cargas no puede basarse sólo en criterios estáticos, sino también en una reflexión sobre la utilización de la superficie útil.

Los rascacielos se pueden diferenciar según el sistema de concentración de cargas en las plantas. En el sistema reticular los puntos de concentración de cargas están distribuidos uniformemente por toda la planta, en el sistema perimetral están situados en el perímetro, en el sistema nuclear, la zona de concentración de cargas se encuentra en el centro, y en el sistema puente las cargas se recogen a través de una estructura de mayor magnitud.

En los rascacielos, los sistema de concentración de cargas están estrechamente vinculados con la forma y distribución de la planta. Esta interdependencia es tan grande que los sistemas de concentración de cargas condicionan los sistemas de distribución en planta de los rascacielos.

Para conseguir un punto de partida flexible a la hora de distribuir las plantas de los pisos, y buenas posibilidades para modificaciones posteriores de cada uno de los espacios, el proyecto de estructuras de altura activa debería aspirar a reducir al máximo los elementos de transmisión de cargas, tanto en sección como en número.

Debido a la necesaria continuidad en la transmisión vertical de las cargas, los rascacielos suelen caracterizarse por elementos verticales continuos que provocado fachadas no articuladas en altura. La diferenciación en altura es uno de los problemas de diseño no resueltos en la construcción de rascacielos.

Los sistemas de estructuras de altura activa, a pesar de la lógica verticalidad de los elementos de transmisión de cargas, se pueden proyectar de manera rentable con elementos no verticales. Esto significa que la monotonía del contorno recto en vertical no es una propiedad coercitiva de los sistemas de estructuras de altura activa.

Investigar las posibilidades para diferenciar y estructurar la geometría en alzado de los sistemas estructurales verticales es una tarea imprescindible en la actualidad.

Para transmitir las cargas en vertical, los rascacielos necesitan que los pilares tengan una sección considerable, lo cual limita la superficie útil de las plantas. Si en vez de estar apoyadas, las plantas se suspenden, se puede reducir bastante la sección de los elementos portantes, aunque esta transmisión indirecta de las cargas exige un sistema estructural de mayor magnitud para la transmisión definitiva de las cargas a tierra.

Los rascacielos en los que las superficies horizontales están apoyadas o suspendidas de una estructura de mayor magnitud para reducir la sección de los elementos portantes, se asemejan a puentes en los que la concentración y transmisión final de las cargas se realiza mediante pilones: rascacielos-puente.

Debido a la necesidad de reducir al mínimo la sección de los elementos de transmisión de cargas para aprovechar al máximo la superficie útil, todos los elementos que definen el espacio y son necesarios para el funcionamiento del rascacielos son elementos estructurales en potencia: cajas de escalera y ascensores, conductos de instalaciones y piel exterior.

El proyecto óptimo de un sistema estructural de altura activa debería integrar los muros necesarios para la comunicación vertical en el rascacielos. Por ello, los sistemas estructurales de altura activa son inseparables de las arterias técnico-funcionales del rascacielos.

Por lo tanto, para proyectar una estructura de altura activa no sólo es necesario un amplio conocimiento de los mecanismos de todos los sistemas estructurales, sino también de las relaciones de interdependencia de todos los factores que determinan la obra, debido a la dependencia de la estructura de la distribución en planta y de la integración de los elementos técnicos.

# 5 Altura-ativa

## Sistemas estruturais de



Os elementos sólidos rígidos que se estendem predominantemente em sentido vertical, assegurados contra esforços laterais e firmemente ancorados ao solo, podem absorver cargas desde planos horizontais, a grande altura acima do solo, e transmiti-las às fundações: sistemas estruturais de altura-ativa ou, simplesmente, arranha-céus.

Os sistemas estruturais cuja função principal é a de agrupar cargas de planos horizontais colocados uns sobre os outros, e transmiti-las verticalmente à base são os sistemas estruturais de altura-ativa, e por conseguinte os arranha-céus.

Os arranha-céus caracterizam-se pelos sistemas particulares de agrupamento de cargas, transmissão destas e estabilização lateral.

Os arranha-céus empregam, na redistribuição e transmissão de forças, sistemas de mecanismos de forma-ativa, vetor-ativo, seção-ativa ou superfície-ativa. Não possuem mecanismos de trabalho próprio.

Os arranha-céus não são uma seqüência de sistemas de uma planta empilhados, nem podem ser considerados, devido ao seu comportamento estrutural, um superbalanço em altura. São sistemas homogêneos com problemas únicos e soluções únicas.

Devido a sua extensão em altura e, por conseqüência, sua múltipla susceptibilidade à carga horizontal, a estabilização lateral é um componente essencial no projeto de sistemas estruturais de altura-altiva. A partir de uma certa altura acima do solo, a redistribuição das forças horizontais pode tornar-se o fator determinante da forma do projeto.

Os sistemas estruturais de altura-ativa são um instrumento e uma ordem para a construção de edifícios de grande altura. Sob esse aspecto, são determinantes na formação de modernas construções e cidades.

Os sistemas estruturais de altura-ativa são o requisito e o veículo para a utilização da terceira dimensão da altura no planejamento urbano. Futuramente, o uso dos sistemas estruturais de altura-ativa não se limitará, portanto, só a edifícios isolados, mas ampliar-se-á para tornar acessível, também em extensão, o grande espaço urbano.

Os sistemas estruturais de altura-ativa requerem continuidade dos elementos que transportam a carga à base, e, portanto, necessitam da concordância dos pontos de agrupamento de carga para cada planta. A distribuição dos pontos coletores de carga deve ser determinada não apenas por considerações de eficiência estrutural, mas também pelas de utilização do pavimento.

Os arranha-céus podem ser distinguidos pelos diferentes sistemas de captação de carga em planta. Nos sistemas modulares, os pontos de união são distribuídos uniformemente em todo o plano do pavimento; nos sistemas de vão livre, são dispostos perifericamente, nos sistemas em balanço, a zona de absorção ou agrupamento de carga situa-se no centro, e nos sistemas em ponte os pontos de absorção são direcionados a uma estrutura separada sobreposta.

Nos edifícios altos, os sistemas de absorção de carga são intimamente relacionados com a configuração e a organização da planta. A interdependência é tal que os sistemas de absorção de carga propriamente ditos produzem sistemas correspondentes de plantas para edifícios altos.

Com a finalidade de proporcionar condições adequadas para uma planta flexível, e boas possibilidades de reorganização posterior de compartimentos individuais em cada planta, o projeto de sistemas estruturais de altura-ativa tem como meta a maior redução possível de elementos verticais de transmissão de carga, tanto em seção quanto em número.

Por causa da continuidade necessária à transmissão vertical das cargas, os sistemas estruturais de altura-ativa caracterizam-se geralmente por barras verticais contínuas, que, por sua vez, têm conduzido a fachadas não articuladas na sua extensão em altura. A articulação em altura ainda é um dos problemas não resolvidos dos sistemas estruturais de altura-ativa.

Os sistemas estruturais de altura-ativa, apesar da lógica vertical das partes que transmitem a carga, podem ser projetados com economia também com elementos não verticais. Isso significa que a monotonia da linha reta vertical do alçado do contorno não é uma qualidade intrínseca dos sistemas estruturais de altura-ativa.

A investigação das possibilidades para a diferenciação e articulação da geometria vertical das estruturas de edifícios elevados é uma tarefa importante e atual. Aqui, um amplo potencial inusitado do projeto de edifícios altos ainda deve ser descoberto.

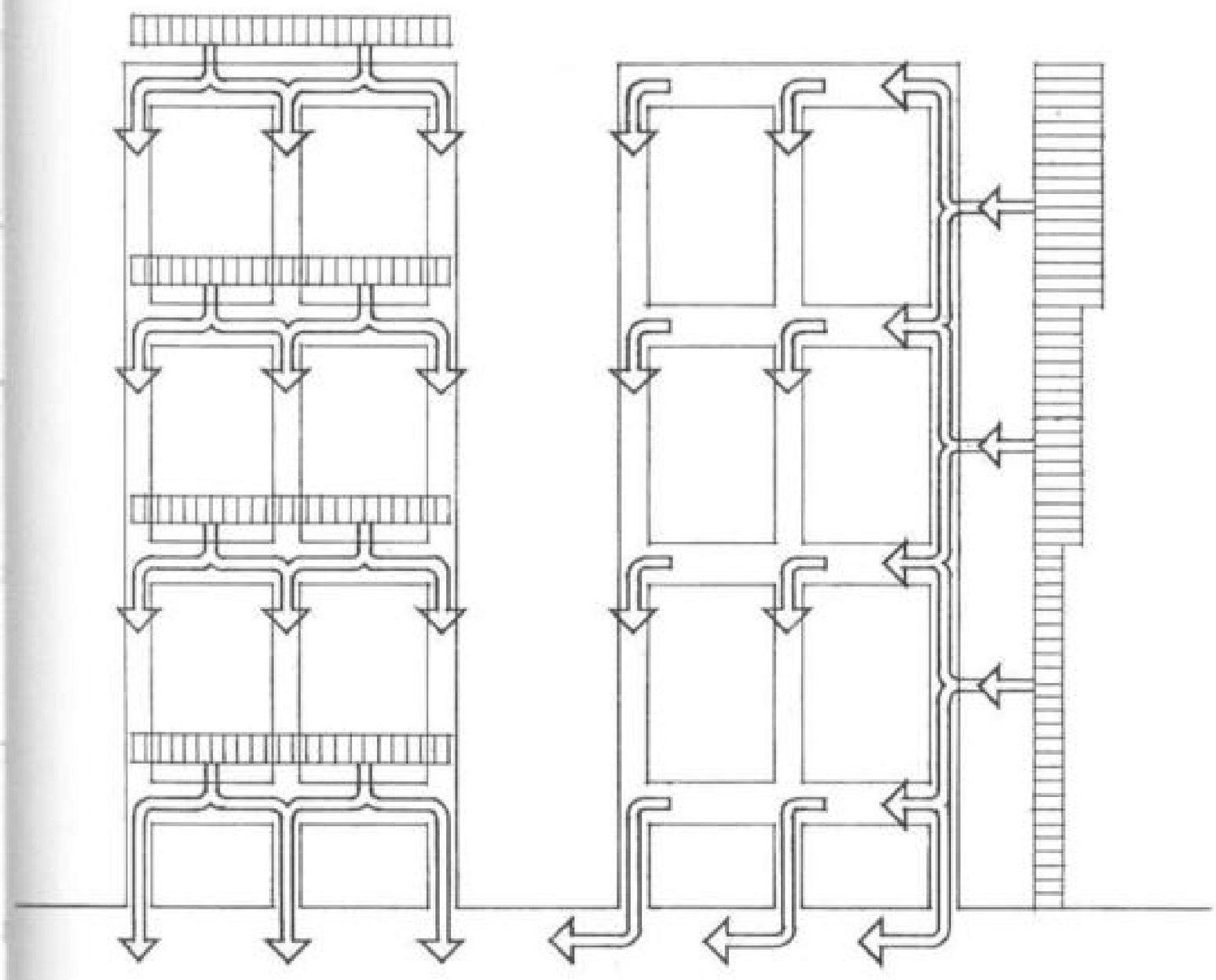
Os arranha-céus requerem para a transmissão da carga vertical um considerável volume na seção de coluna, que limita a área útil de planta. Através da suspensão dos pavimentos, ao invés de apoiá-los sobre elementos transitórios, pode-se conseguir uma considerável redução da seção dos elementos que transmitem a carga. Essa transmissão indireta da carga necessita, porém, de um sistema de estrutura sobreposto para o transporte final da carga até a base.

Os sistemas estruturais de altura-ativa, em que os planos horizontais, para reduzir a massa secional dos elementos de transmissão de carga, são sobrepostos e/ou suspensos formam uma superestrutura especifica muito semelhantes aos sistemas construtivos de pontes, em que o agrupamento final da carga, bem como seu transporte, são feitos por pilotis: arranha-céus tipo ponte.

Em razão da necessidade de limitar a seção dos elementos transmissores de carga, para otimizar o uso da área de planta, todos os elementos verticais que configuram espaços necessários para a função do edifício alto são seções estruturais potenciais: vãos de escadas, poços de elevadores, ductos de instalações, revestimentos externos.

O projeto ideal dos sistemas estruturais de altura-ativa integra todas as seções materiais dos compartimentos circulatórios verticais, que são componentes básicos do organismo de um grande edifício. Os sistemas estruturais de altura-ativa encontram-se, portanto, intimamente ligados à origem técnico-dinâmica dos edifícios altos.

O projeto dos sistemas estruturais de altura-ativa pressupõe, pois, um amplo conhecimento, não só dos mecanismos de todos os sistemas de estrutura, mas também, por causa da interdependência com a organização da planta e da integração do equipamento técnico do edifício, um conhecimento das interrelações de todos os fatores determinantes de uma construção.



## Función de los sistemas de estructuras de altura activa

Los sistemas de estructuras de altura activa son estructuras para controlar las cargas altas, es decir, su recepción, su transmisión a tierra y su posterior descarga (= cimentación de las cargas).

1. Las cargas verticales en altura, es decir, por encima del nivel del suelo: cargas de la cubierta y de las plantas.
2. Las cargas horizontales debidas a la altura: empuje del viento y vibraciones.

Las cargas altas están presentes en todas las obras. Cuanto más alto es el edificio, mayor es la influencia de la estructura portante en su forma.

## Função dos sistemas estruturais de altura-ativa

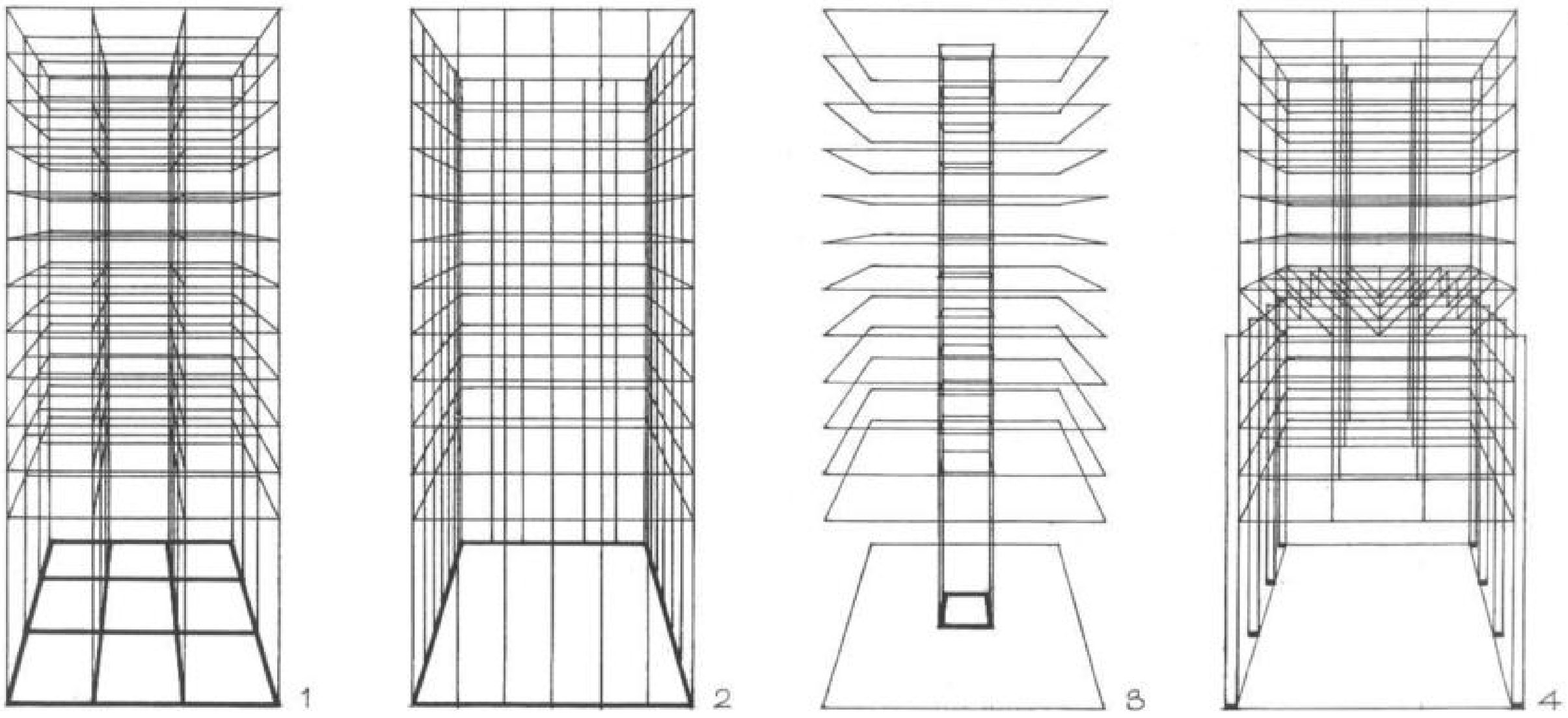
Os sistemas estruturais de altura-ativa são mecanismos para o controle de cargas em altura, isto é, sua recepção, sua transmissão para a base, e a sua descarga (= carga transmitida ao solo):

1. As cargas verticais incidem na elevação, isto é, na superfície do solo: cargas de cobertura e cargas de pavimento.
2. As cargas horizontais são efeito da extensão em altura: cargas de vento e cargas de vibração.

Cargas de altura incidem em todos os edifícios. Quanto maior altura do edifício, maior influência da estrutura portante na forma do edifício.

La característica de los rascacielos no depende sólo de un MECANISMO específico para transmitir las cargas como en la otras 4 "familias" de estructuras, sino en la FUNCIÓN preponderante de los rascacielos (véase más arriba). Para cumplir esta función, los rascacielos se sirven de los mecanismos de las otras 4 "familias" de estructuras.

A distinção das estruturas de arranha-céu não depende de um MECANISMO específico de reorientação das forças como nas outras 4 "famílias" de estruturas, mas na FUNÇÃO predominante das estruturas de arranha-céu (ver acima). Para o desempenho desta função os edifícios altos usam mecanismos das outras 4 "famílias" de estruturas.




Clasificación de los sistemas estructurales de altura activa / Prototipos
Classificação dos sistemas estruturais de altura-ativa / Protótipos

1 Rascacielos RETICULARES — Arranha-céus em MALHA
2 Rascacielos PERIMETRALES — Arranha-céus de VÃO LIVRE
3 Rascacielos NUCLEARES — Arranha-céus em BALANÇO
4 Rascacielos PUENTE — Arranha-céus em PONTE

Definición / Definição

LOS SISTEMAS DE ESTRUCTURAS DE ALTURA ACTIVA son sistemas portantes de elementos sólidos y rígidos que se extienden, sobre todo, en vertical, y en los que la transmisión de las cargas –la concentración y cimentación de las cargas en altura (cargas de planta y de viento)– se realiza a través de elementos resistentes en altura, RASCACIELOS

Os sistemas estruturais de altura-ativa são sistemas estruturais de elementos sólidos e rígidos em extensão predominantemente vertical, nos quais a reorientação de forças –isto é, a absorção e transmissão das CARGAS DE ALTURA (= cargas de pavimento e cargas de vento)– é efetuada através da típica composição de elementos resistentes a altura, ARRANHA-CÉUS

Fuerzas / Forças

Los elementos del sistema, es decir, los transmisores de cargas y los estabilizadores, suelen estar sometidos a fuerzas diferentes y variables: SISTEMAS CON UN ESTADO DE TENSIONES COMPLEJO

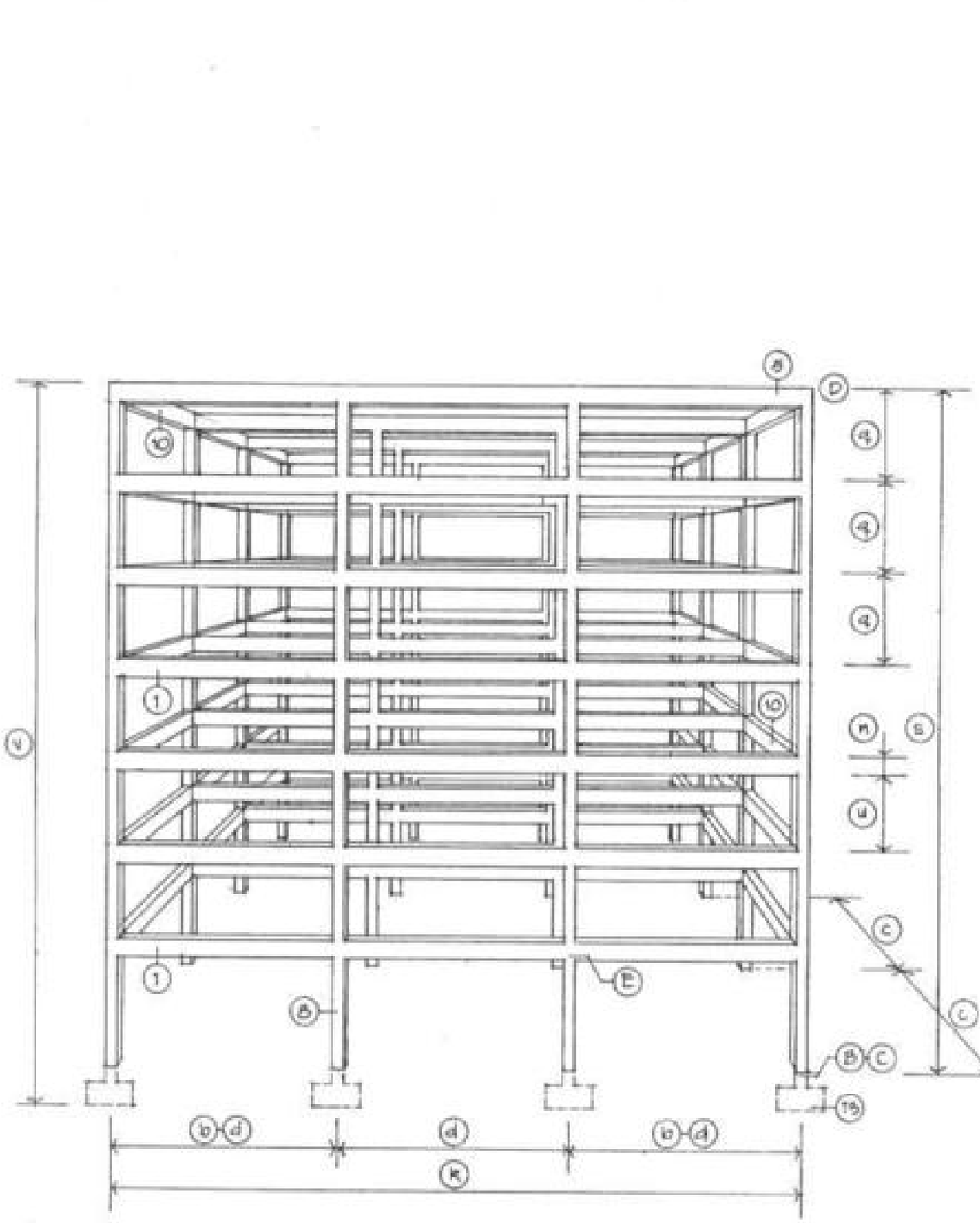
Os membros do sistema, isto é, os transmissores e estabilizadores de carga, como regra estão sujeitos a um complexo de forças diversas e mutáveis:
SISTEMAS EM CONDIÇÃO COMPLEXA DE ESFORÇOS

Características

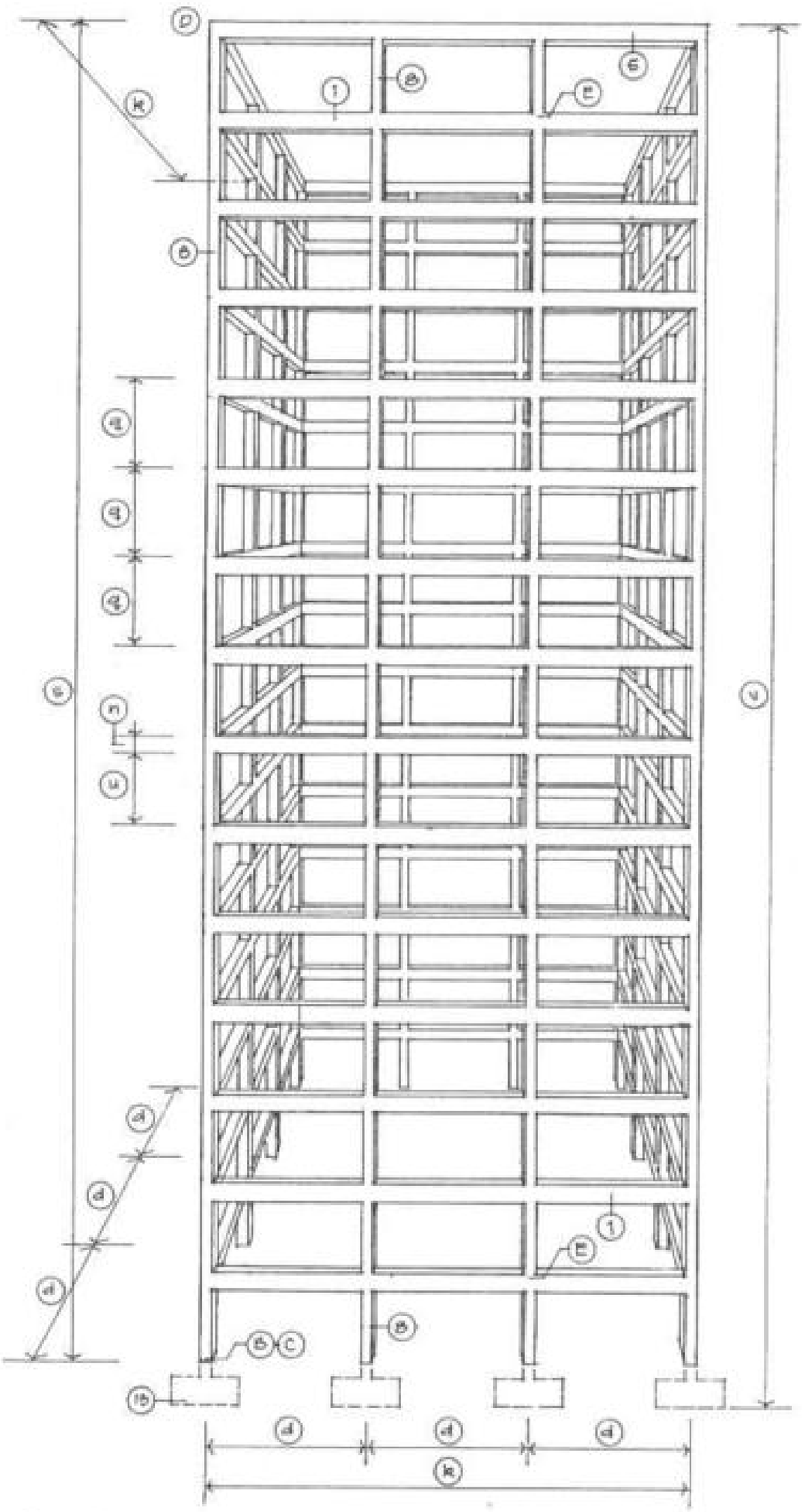
Las características típicas de la estructura son:
CONCENTRACIÓN DE CARGAS / CIMENTACIÓN DE LAS CARGAS / ESTABILIZACIÓN

As características típicas das estruturas são:
ABSORÇÃO DE CARGAS / TRANSFERÊNCIA DE CARGAS PARA A BASE / ESTABILIZAÇÃO

## Componentes y denominaciones / Componentes e denominações



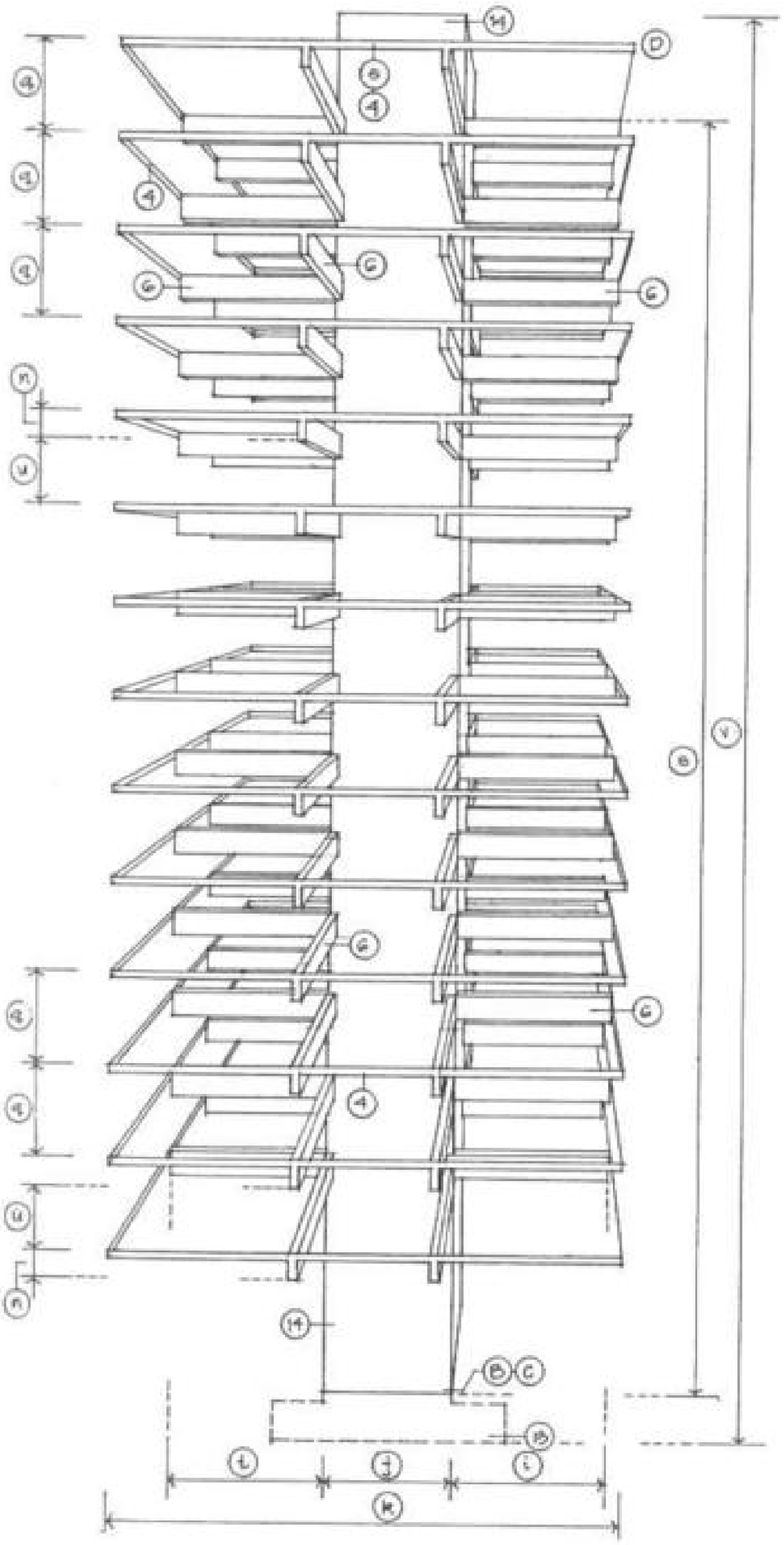
5.1 Rascacielos reticulares / Arranha-céus tipo modular



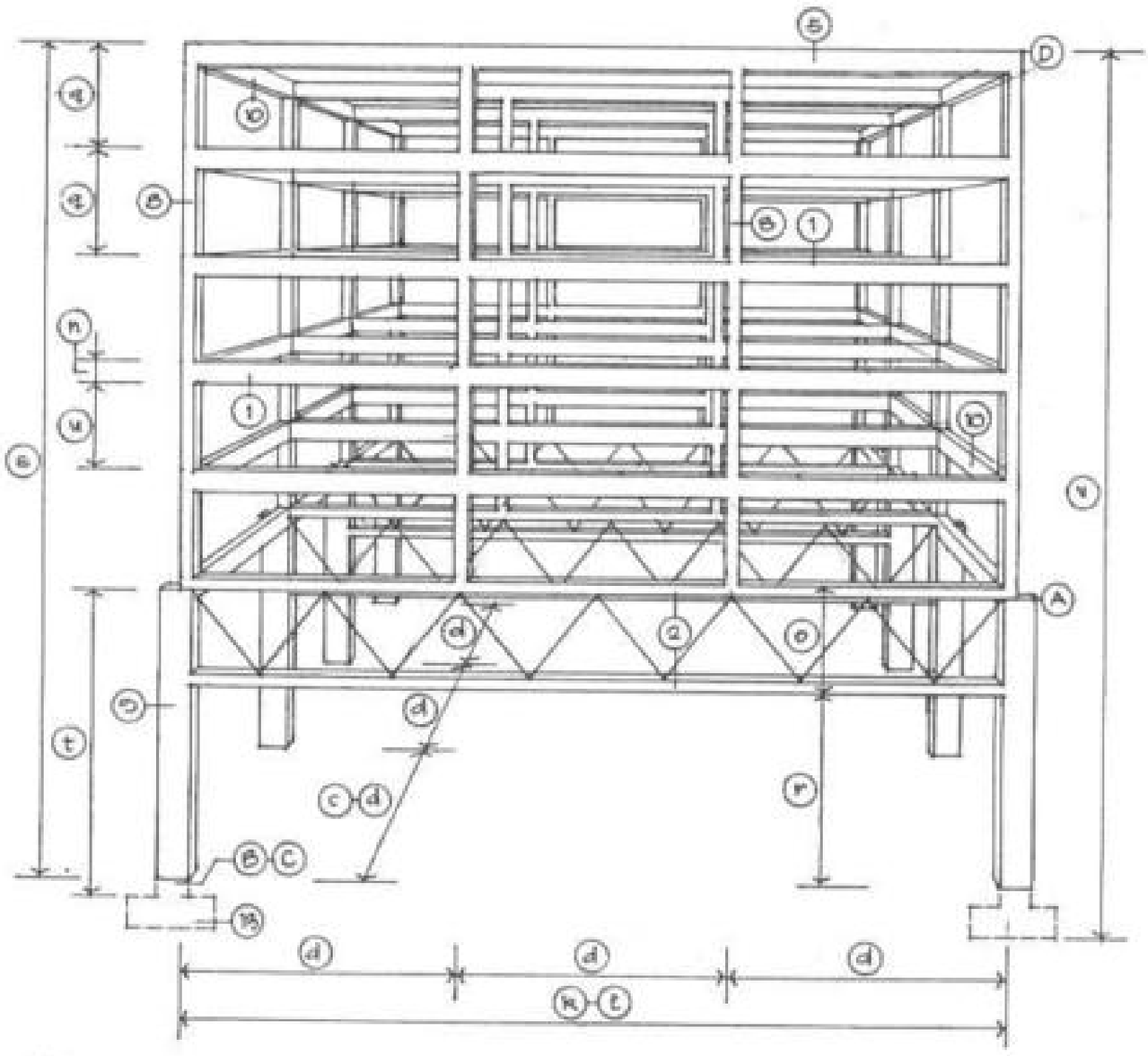
5.2 Rascacielos perimetrales / Arranha-céus de vão livre

Puntos topográficos del sistema / Sistema topográfico de pontos

| | |
|---|---|
| (A) Punto de apoyo | Ponto de apoio, ponto de suporte |
| (B) Apoyo, punto de base | Ponto base |
| (E) Empotramiento final | Ponto extremo |
| (D) Esquina del alero | Aresta do beiral |
| (E) Nudo de pórtico | Ponto de cruzamento da malha |



53 Rascacielos nucleares / Arranha-céus em balanço



54 Rascacielos puente / Arranha-céus tipo ponte

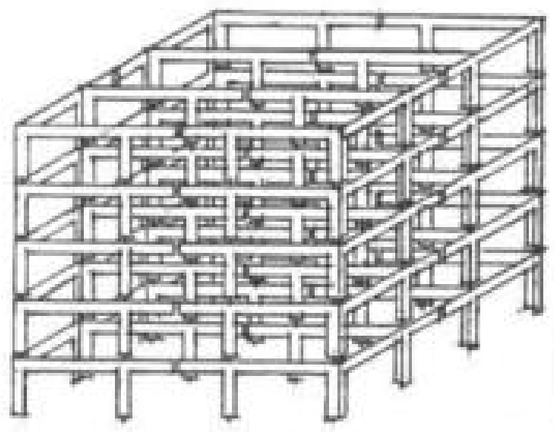
Elementos del sistema / Elementos do sistema

| | | |
|---|---|---|
| ① | Viga / jácena | Viga |
| ② | Jácena-puente | Viga ponte |
| ③ | Jácena de planta | Viga pavimento |
| ④ | Jácena de testero / jácena de antepecho | Viga de amarração, viga parapeito |
| ⑤ | Jácena de alero | Viga de beiral |
| ⑥ | Voladizo, jácena en voladizo | Balanço, viga em balanço |
| ⑦ | Zuncho | Tirante |
| ⑧ | Pilar | Coluna, apoio |
| ⑨ | Pilón | Pilotis |
| ⑩ | Pórtico de estabilización | Pórtico de estabilização |
| ⑪ | Malla de estabilización | Treliça de estabilização |
| ⑫ | Apoyo | Suporte, apoio |
| ⑬ | Cimentación | Fundação, base |
| ⑭ | Núcleo | Núcleo, pilar estrutural central |

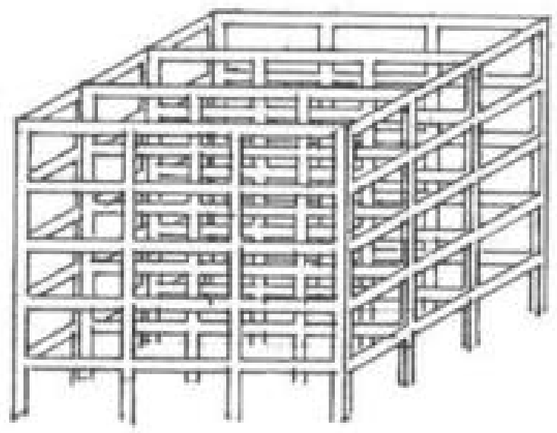
Dimensiones del sistema / Dimensões do sistema

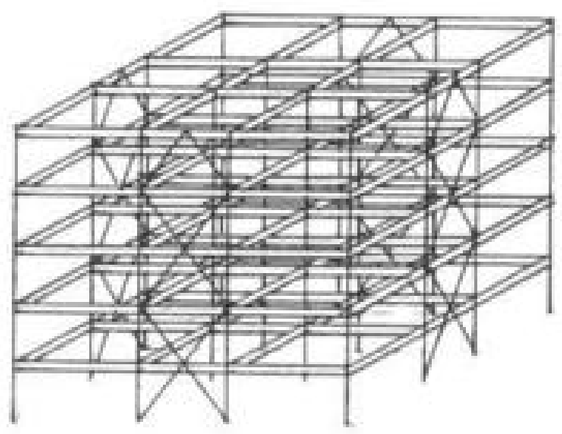
| | | |
|---|---|---|
| ⓐ | Separación entre vigas | Espaçamento entre vigas |
| ⓑ | Luz de las vigas, longitud del pórtico | Vão de viga, dimensão do módulo |
| ⓒ | Separación entre pórticos | Espaçamento entre pórticos |
| ⓓ | Separación entre pilares | Espaçamento entre colunas |
| ⓒ | Dimensión de la retícula (rectangular) | Medida do módulo (quadrado) |
| ⓕ | Anchura de la retícula / longitud de la retícula | Espessura do módulo / altura do módulo |
| ⓖ | Diámetro de la carcasa / luz de la carcasa | Diâmetro do vão livre, vão livre |
| ⓗ | Anchura de la carcasa / profundidad de la carcasa | Espessura do vão livre / profundidade do vão livre |
| ⓛ | Longitud del voladizo | Comprimento do balanço |
| ⓙ | Anchura del núcleo / profundidad del núcleo | Espessura do núcleo / profundidade do núcleo |
| ⓚ | Anchura del sistema / profundidad del sistema | Espessura do sistema / profundidade do sistema |
| ⓛ | Longitud del puente / luz del puente | Vão da ponte |
| ⓜ | Separación entre puentes | Espaçamento entre pontes |
| ⓝ | Canto de la jácena | Profundidade da viga |
| ⓞ | Canto del puente | Profundidade da ponte |
| ⓟ | Canto total de la estructura | Profundidade total da construção |
| ⓠ | Altura de planta | Altura do pavimento |
| ⓡ | Altura del puente | Altura da ponte |
| ⓢ | Altura del alero | Altura do beiral |
| ⓣ | Altura de los pilones, longitud de los pilones | Altura dos pilotis, comprimento dos pilotis |
| ⓤ | Altura libre | Altura livre |
| ⓥ | Altura del sistema | Altura do sistema |

## 5.1 Rascacielos reticulares / Arranha-céus tipo modular

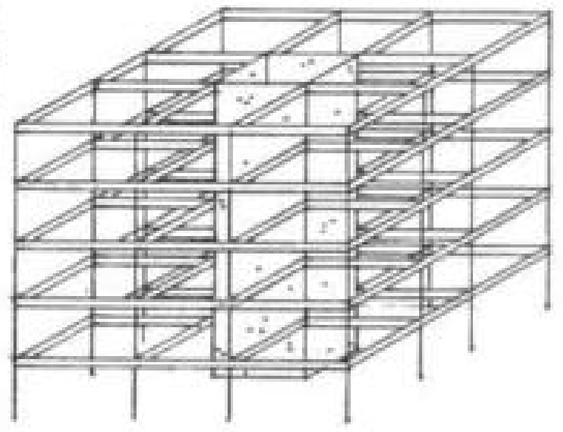


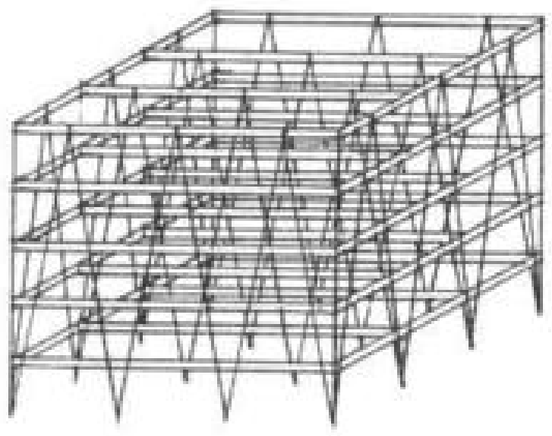
Retículas de pórticos
Sistemas modulares de pórticos



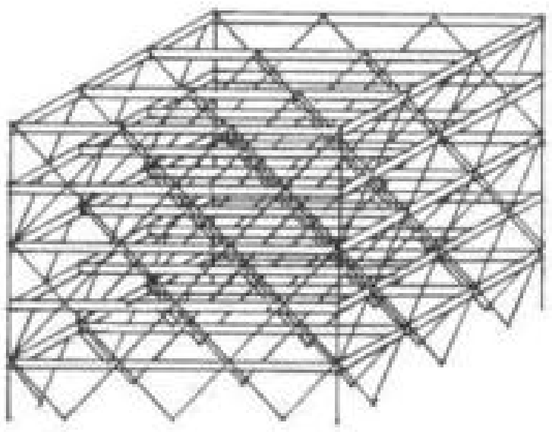


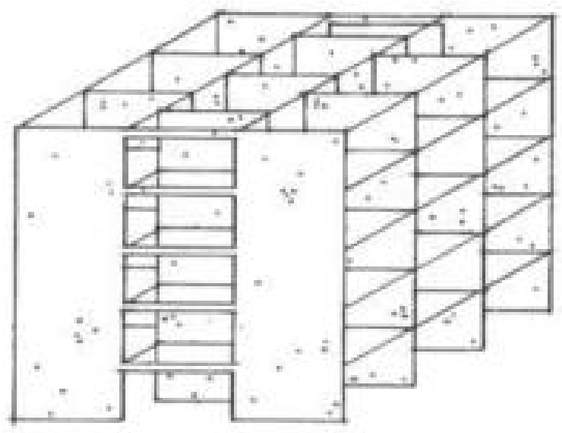
Retículas de pilares rigidizados
Sistemas modulares de pilares estabilizados



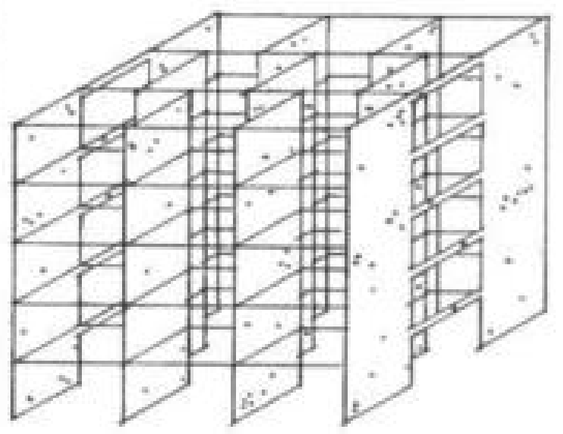


Retículas de celosías
Sistemas modulares entrelaçados

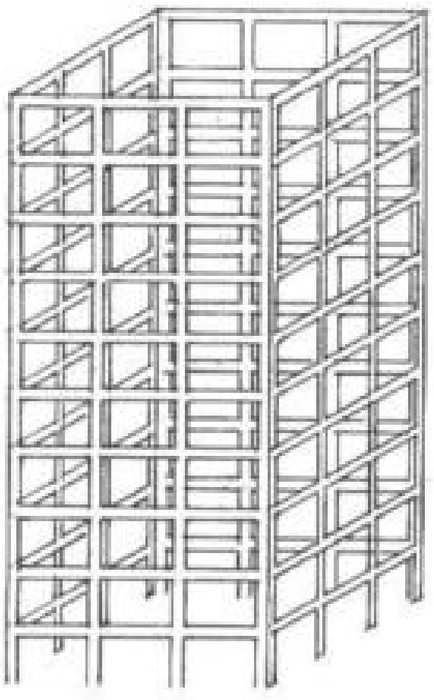




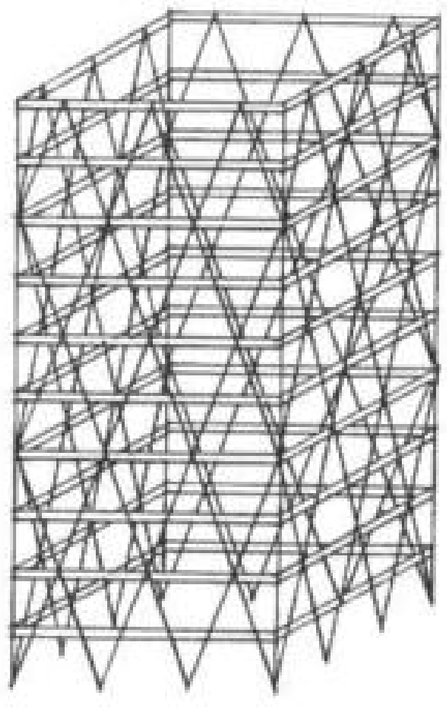
Retículas de láminas
Sistemas modulares de paredes cisalhadas



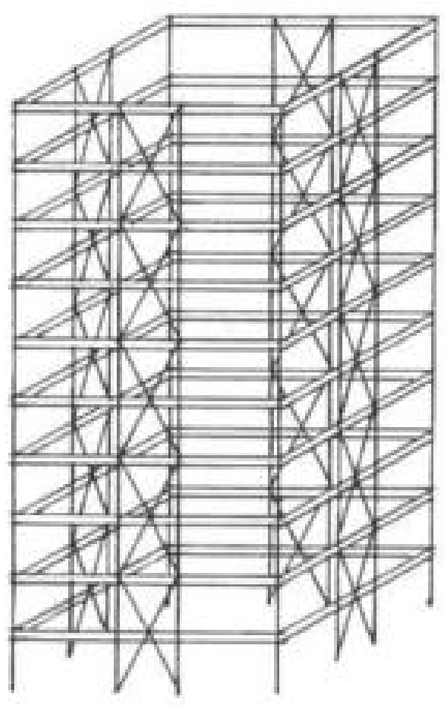
## 5.2 Rascacielos perimetrales / Arranha-céus de vão livre



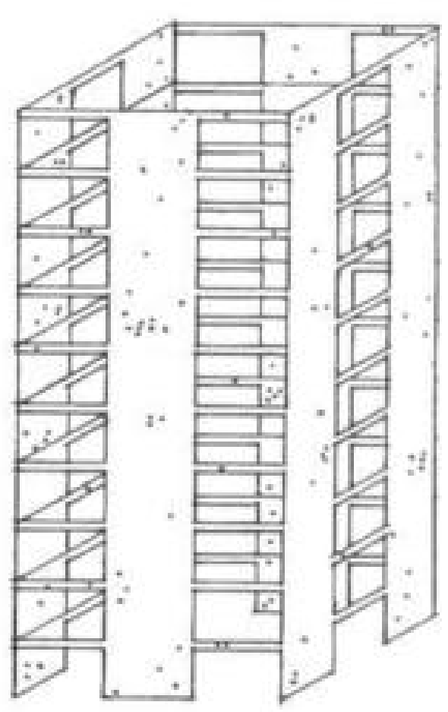
Perímetro de pórticos
Sistemas de pórticos de vão livre



Perímetro de celosías
Sistemas entrelaçados de vão livre

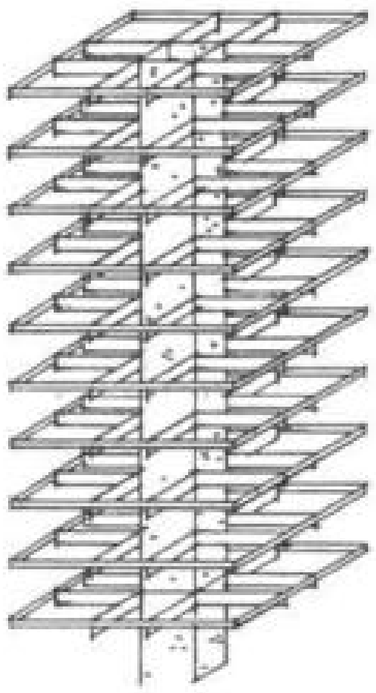


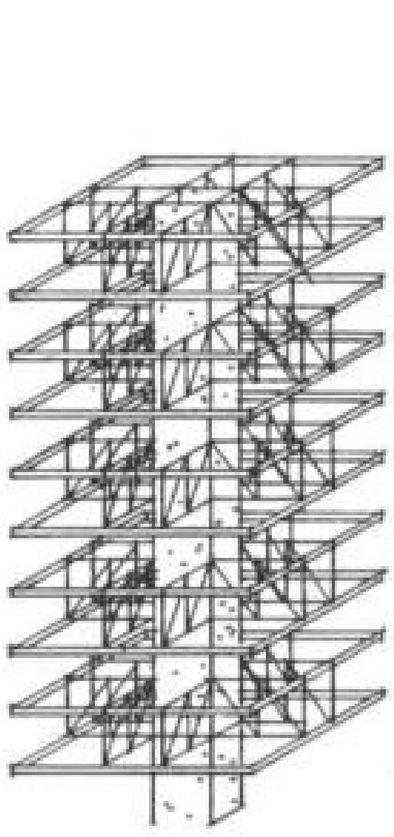
Perímetro de pilares rigidizados
Sistemas de vão livre de pilares estabilizados



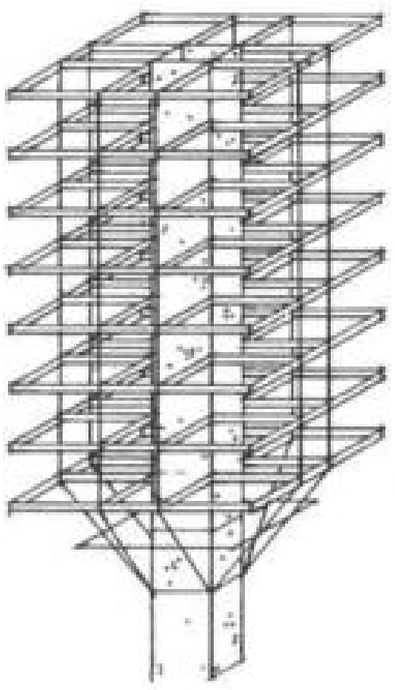
Perímetro de láminas
Sistemas de vão livre de parede cisalhada

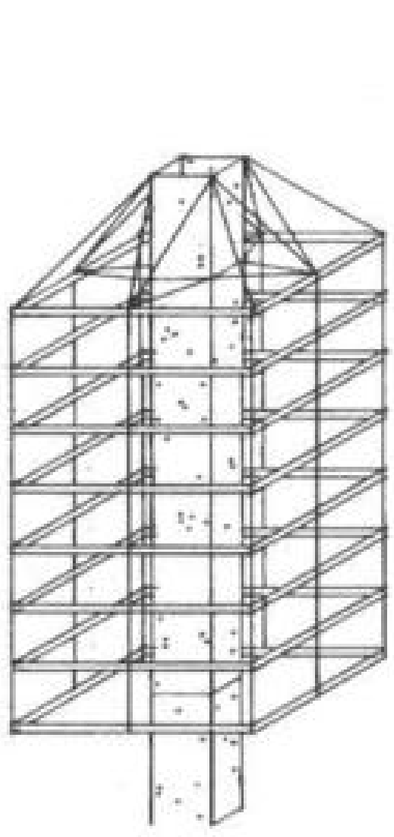
## 5.3 Rascacielos con núcleo / Arranha-céus em balanço

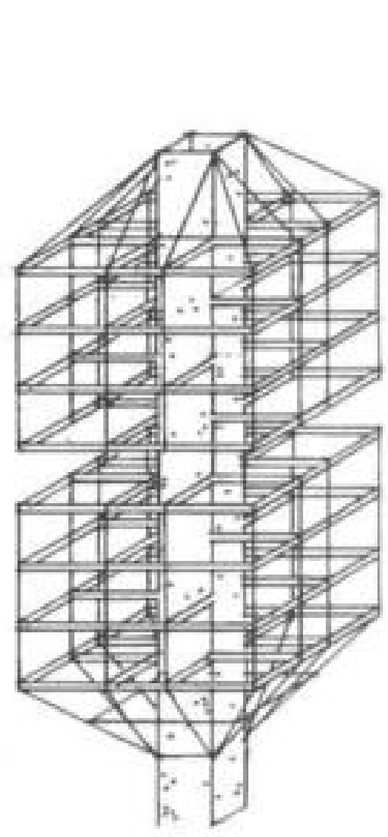




Núcleo con voladizos
Sistemas de balanço com um núcleo

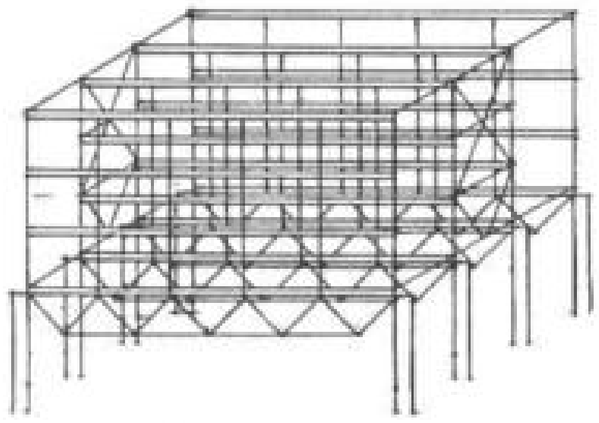




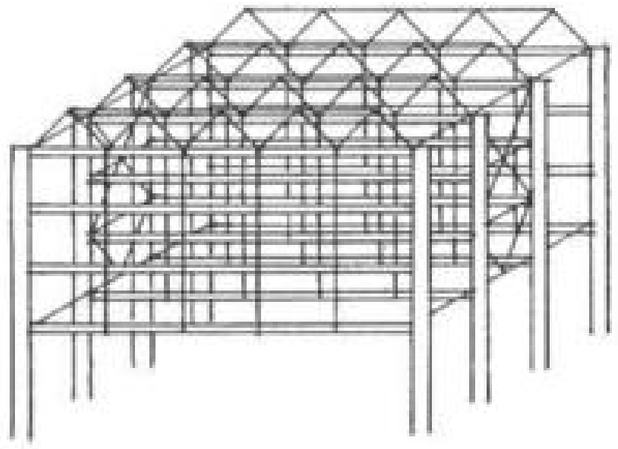


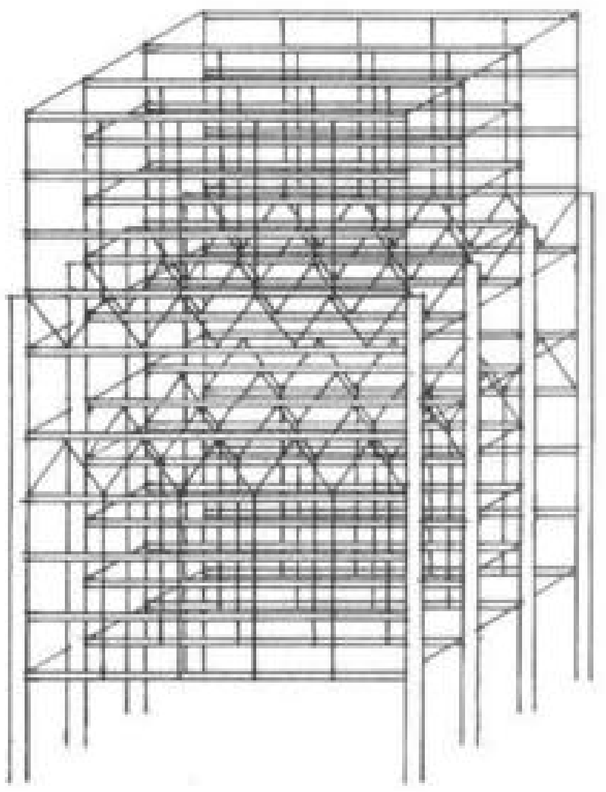
Núcleo portante indirecto
Sistemas de núcleo portante com cargas indiretas

## 5.4 Rascacielos puente / Arranha-céus tipo ponte

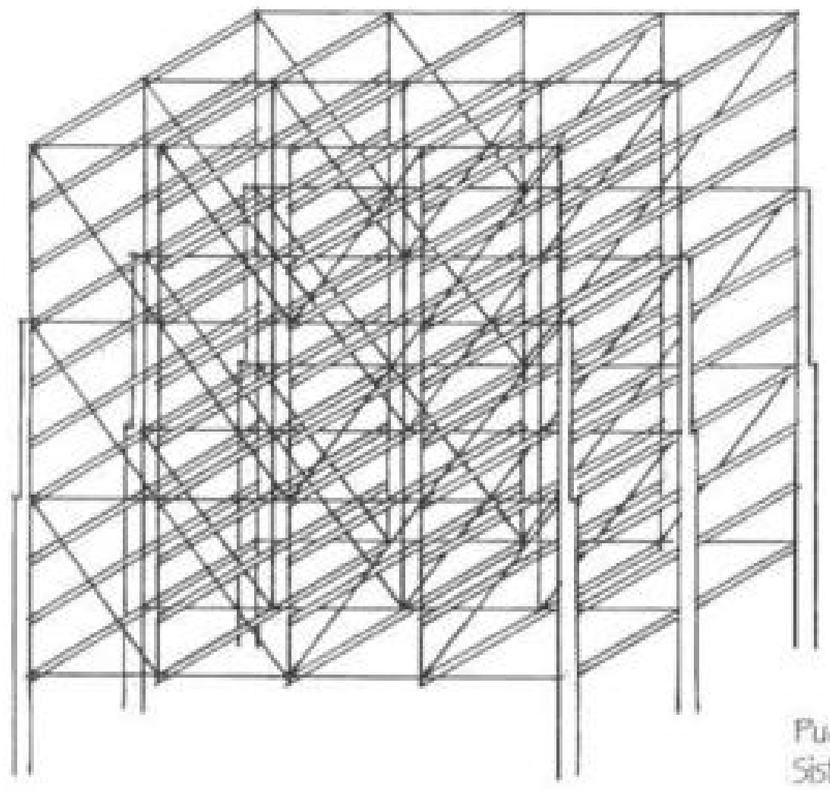


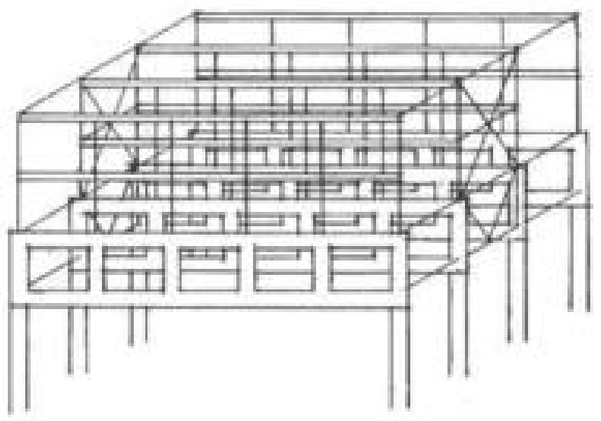
Puentes de jácenas
Sistemas de viga tipo ponte

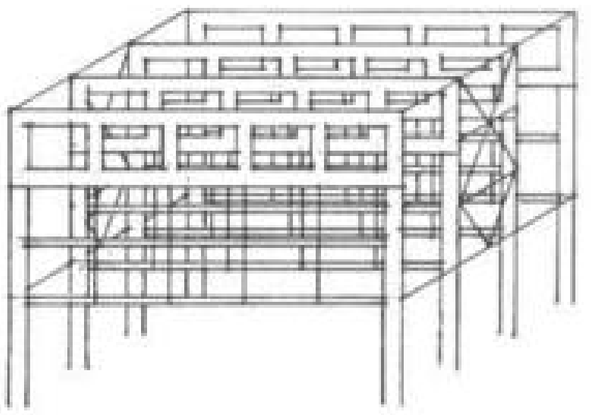




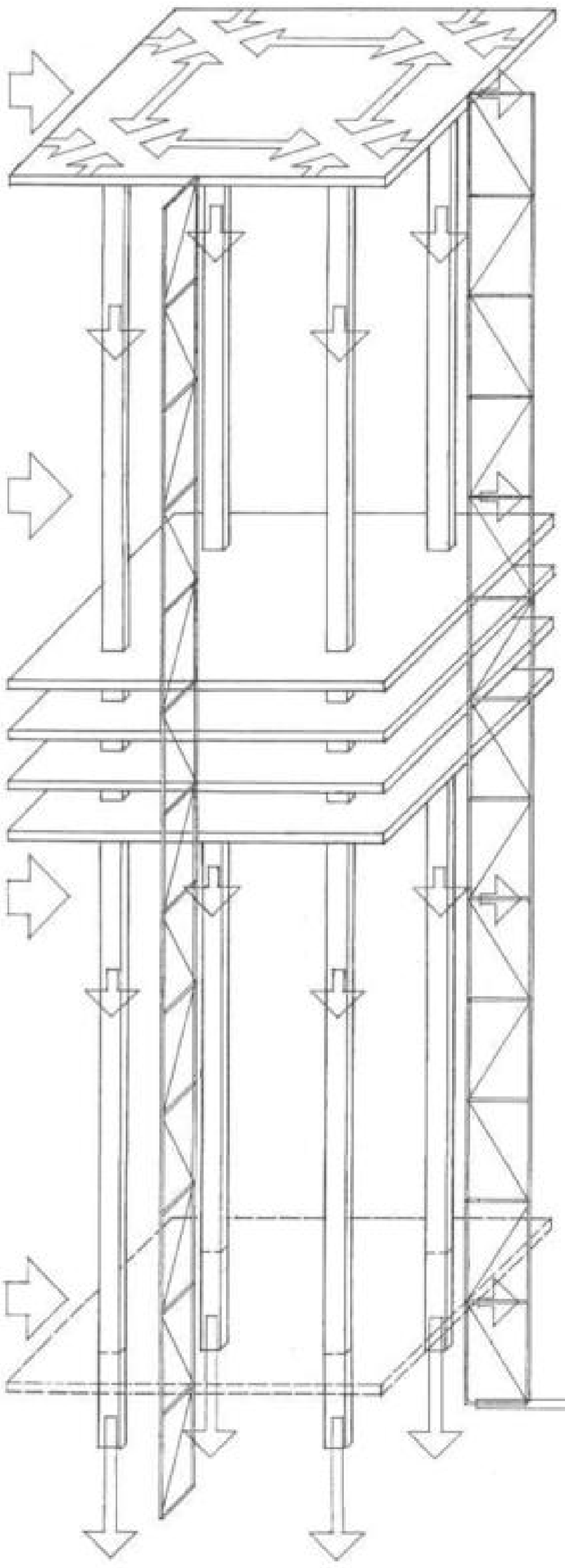
Puentes de planta
Sistemas de pavimento tipo ponte







Puentes de varias plantas
Sistemas de vários pavimentos tipo ponte



## Diseño de estructuras de altura activa a partir de 3 operaciones
## Projeto de estruturas de altura-ativa como sistemas de desenvolvimento de 3 operações

1 Sistema de recogida de las cargas horizontales en las plantas: CONCENTRACIÓN DE CARGAS
1 Subdivisión de las superficies sobre las que actúan las cargas
2 Flujo horizontal de las cargas
3 Geometría de los puntos de recepción de cargas
4 Estructura (secundaria)

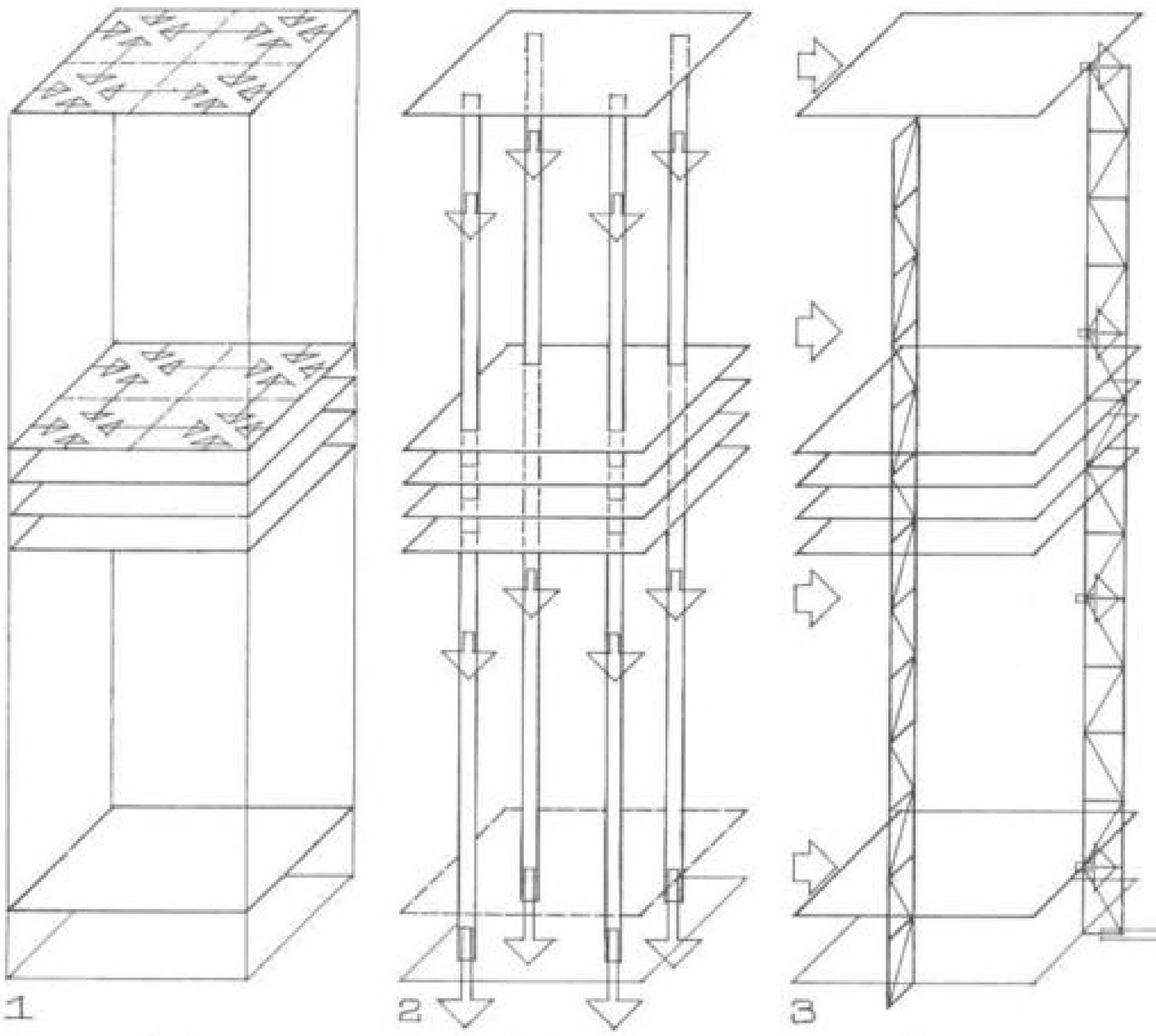
Sistema de absorção de carga horizontal nos pavimentos: ABSORÇÃO DE CARGAS
1 Subdivisão da superfície com distribuição da carga
2 Fluxo horizontal das cargas
3 Geometria dos pontos de absorção de carga
4 Estrutura (secundária)

2 Sistema de transporte de las cargas verticales desde las plantas: TRANSMISIÓN DE CARGAS
1 Topografía de los puntos de transferencia de cargas
2 Flujo vertical de las cargas de planta
3 Estructura (primaria)
4 Transmisión de las cargas a la cimentación

Sistema de carga vertical transferida a partir dos pavimentos: TRANSFERÊNCIA DE CARGAS PARA A BASE
1 Topografia dos pontos de tranferência de carga
2 Fluxo vertical das cargas dos pavimentos
3 Estrutura (primária)
4 Descarga de carga através das fundações

3 Sistema de arriostramiento lateral frente a las cargas horizontales: RIGIDIZACIÓN
1 Rigidización del propio edificio por adición / integrada / combinada
2 Mecanismos de desviación de las cargas
3 Flujo vertical de las cargas horizontales
4 Transmisión de las cargas a la cimentación

Sistema de reforço lateral contra as cargas horizontais: ESTABILIZAÇÃO
1 Estabilização do próprio corpo da estrutura: adicional / integrada / combinada
2 Mecânica de redistribuição de carga
3 Fluxo vertical das cargas horizontais
4 Descarga de carga através das fundações



1
Concentración de cargas
Absorção de carga

2
Transmisión de cargas
Transferência de carga para a base

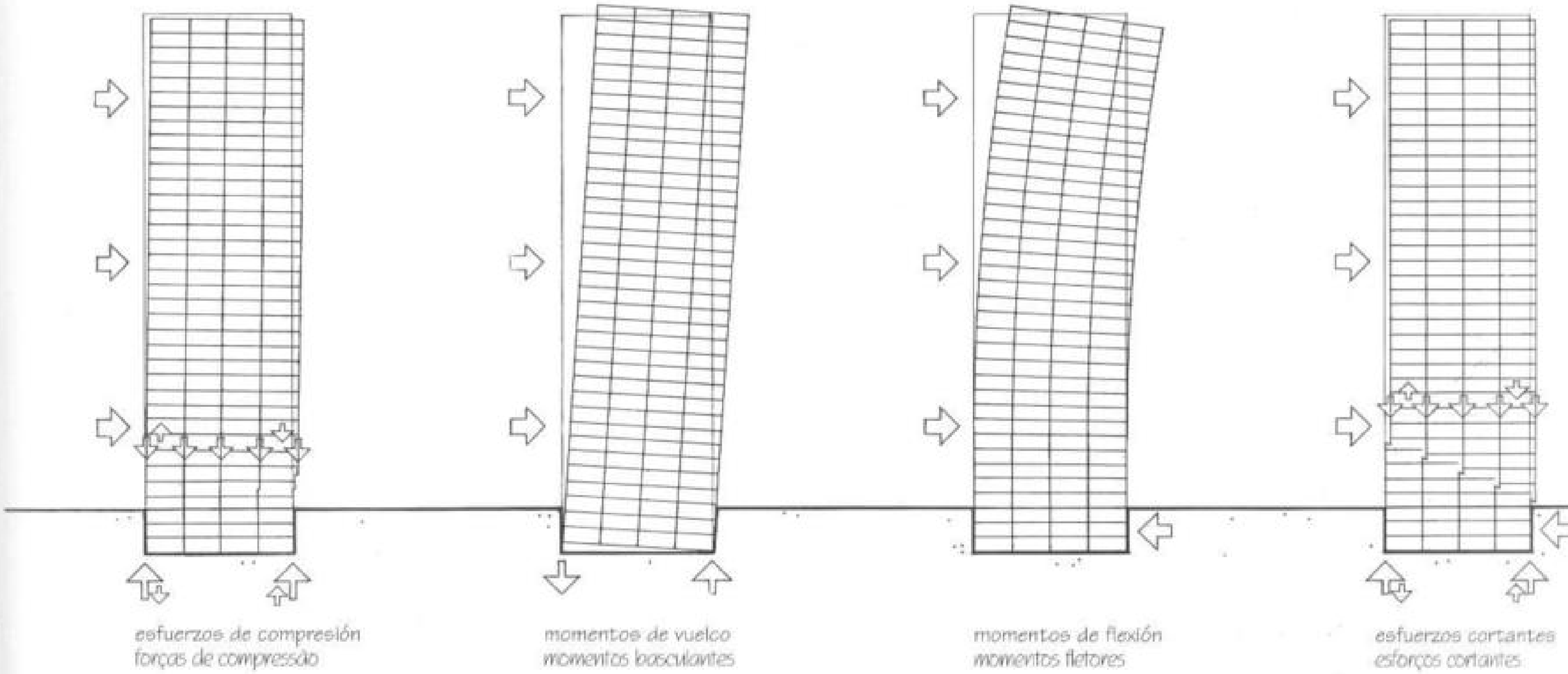
3
Rigidización lateral
Estabilização lateral

El objetivo del diseño de una estructura de altura activa es conseguir la máxima integración posible entre los tres sistemas, de manera que cada uno de los sistemas también realice simultáneamente algunas funciones de los otros sistemas y, en el caso óptimo, todas ellas.

O objetivo no projeto de estruturas de altura-ativa é conseguir a máxima integração dos 3 sistemas no sentido de que um sistema só será eficiente quando cumpra funções de um ou mais sistemas simultaneamente ou, idealizando, um sistema que desenvolva todas as 3 operações.

## Sobrecargas y deformaciones críticas

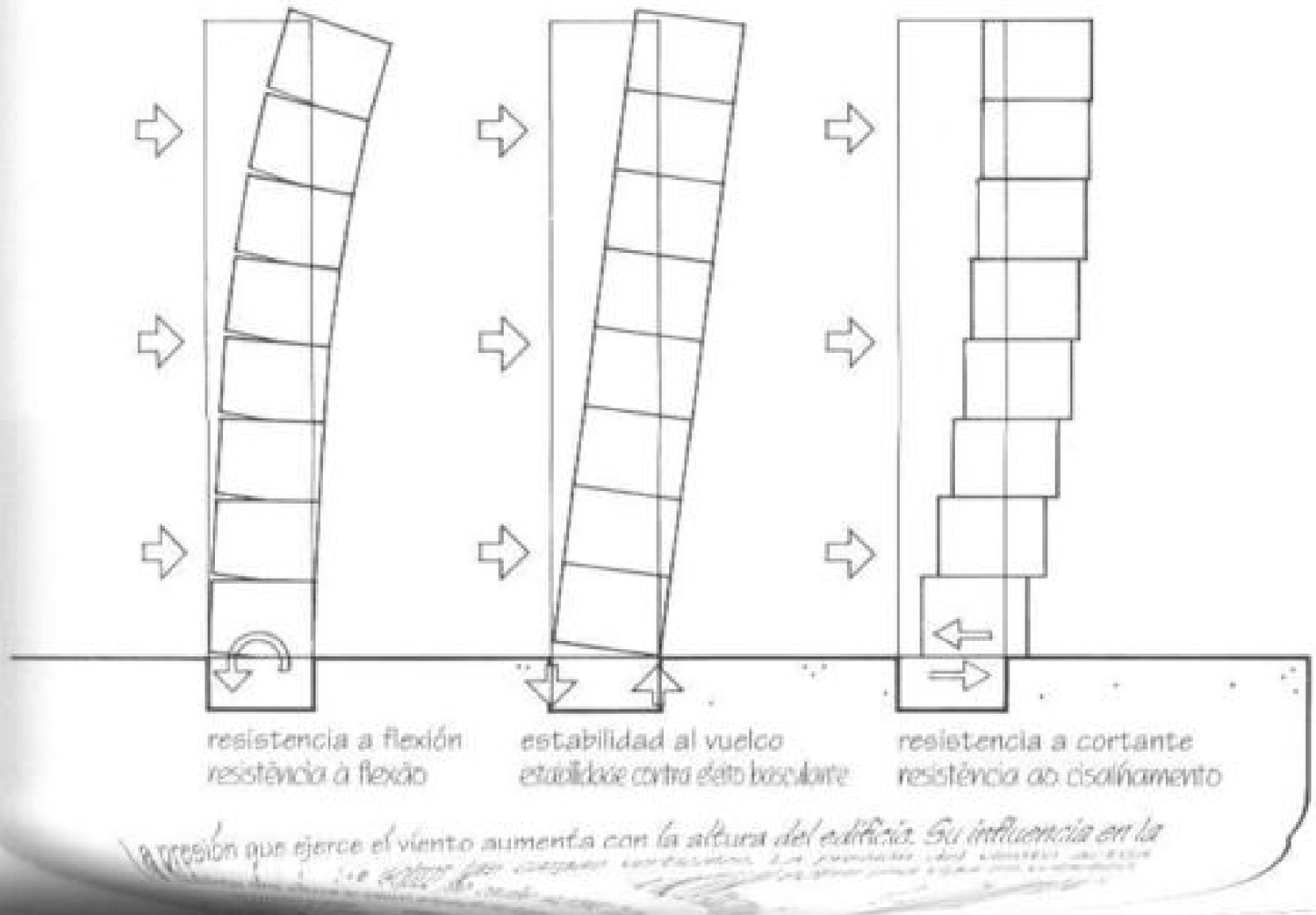
## Cargas críticas e deflexões




Las sobrecargas decisivas para el proyecto de una estructura vertical se obtienen superponiendo el peso propio, la sobrecarga de uso y la presión del viento. La resultante de todas ellas es una fuerza inclinada que es tanto más difícil transmitir a la cimentación cuanto menor sea su ángulo con la horizontal.

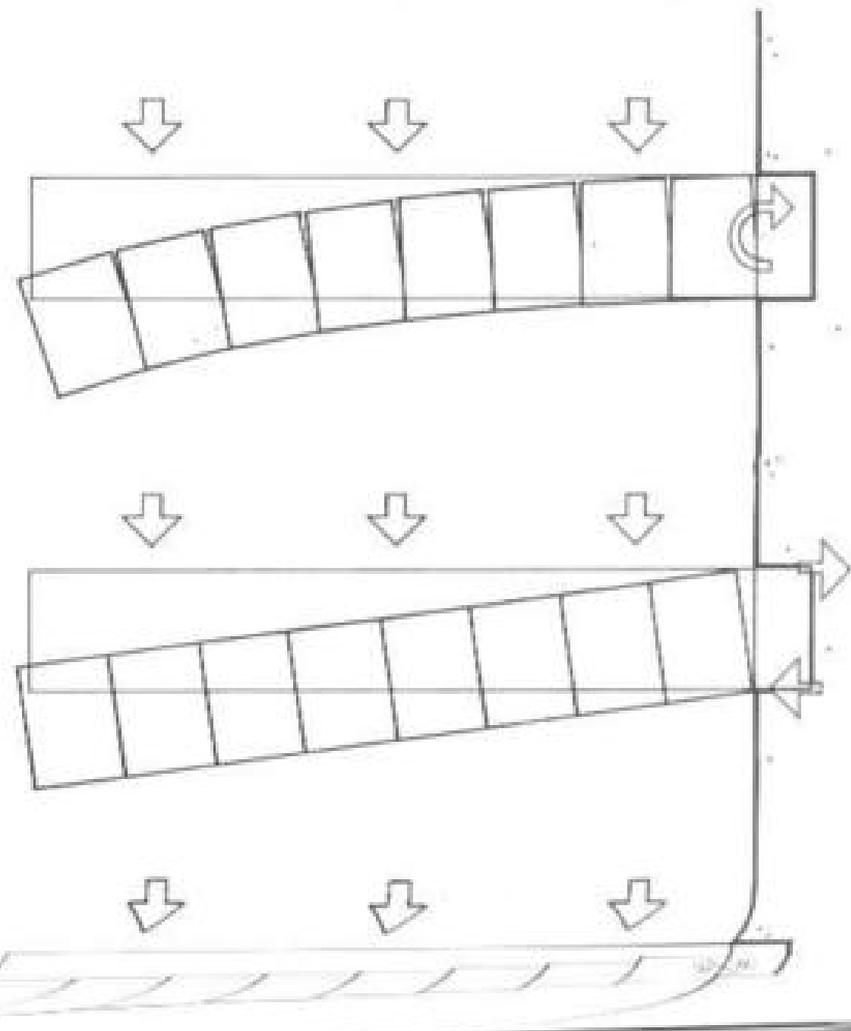
*As cargas decisivas para o projeto de um sistema estrutural vertical resultam da sobreposição do peso próprio, carga permanente e vento. Estas combinam-se em uma força obliqua. Quanto menor for o ângulo de inclinação dessa força, maior será a dificuldade de transmissão da carga para a base.*

## Mecanismo portante para cargas laterales
## Mecanismo portante para cargas laterais




La presión que ejerce el viento aumenta con la altura del edificio. Su influencia en la

Comparación con el mecanismo de una viga en voladizo
*Comparação com o mecanismo de uma viga em balanço*



## Deformación de rascacielos homogéneos bajo la acción de cargas horizontales

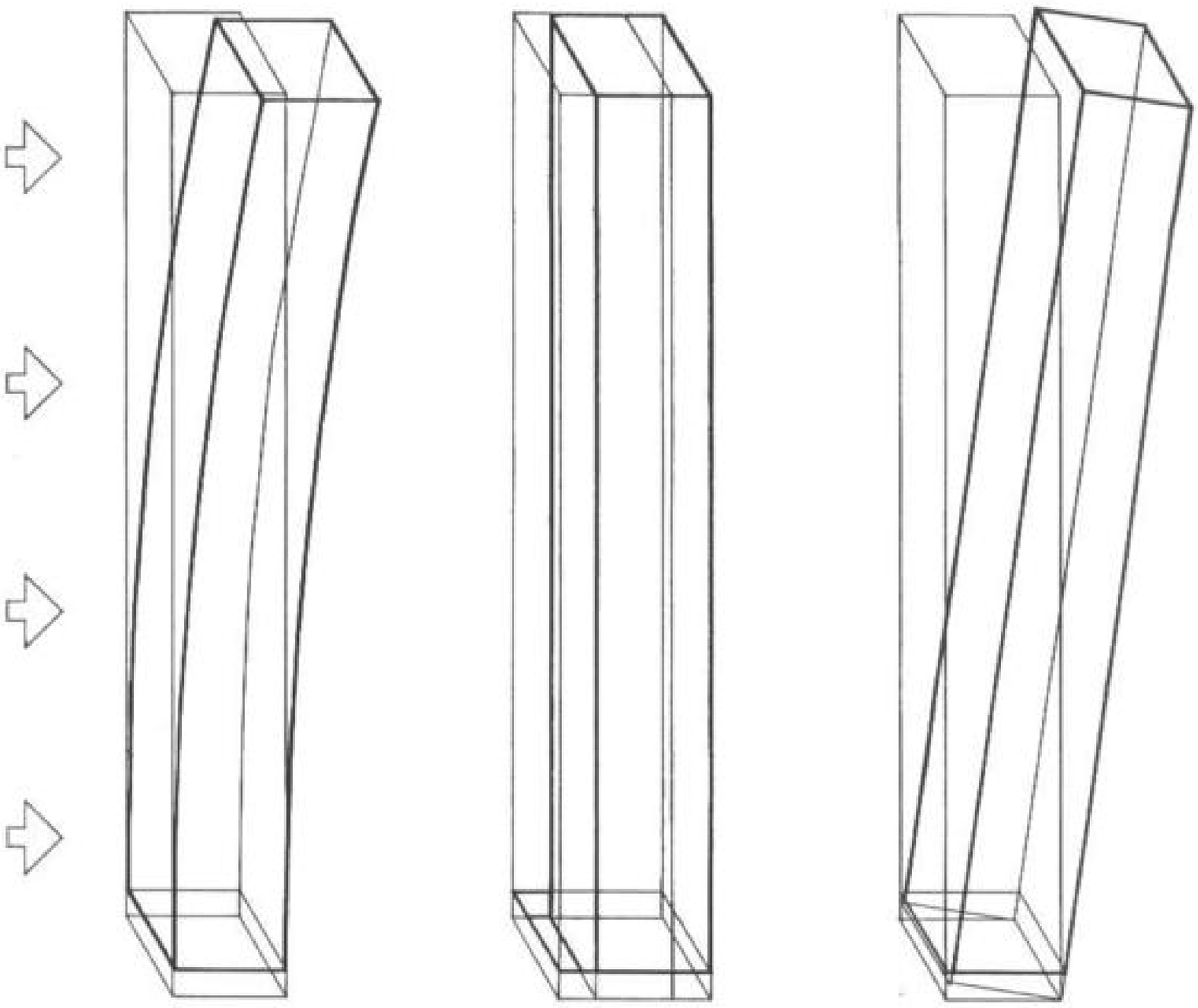
Las cargas horizontales ocasionadas por el viento o por un terremoto producen diferentes movimientos y deformaciones, de considerable complejidad, en los edificios de gran altura.

Rigidizar el edificio frente a estas alteraciones es una de las principales tareas del diseño de sistemas de estructuras de altura activa e incluso puede llegar a definir la forma del edificio.

## Deflexões de edifícios altos homogêneos sob ação de cargas horizontais

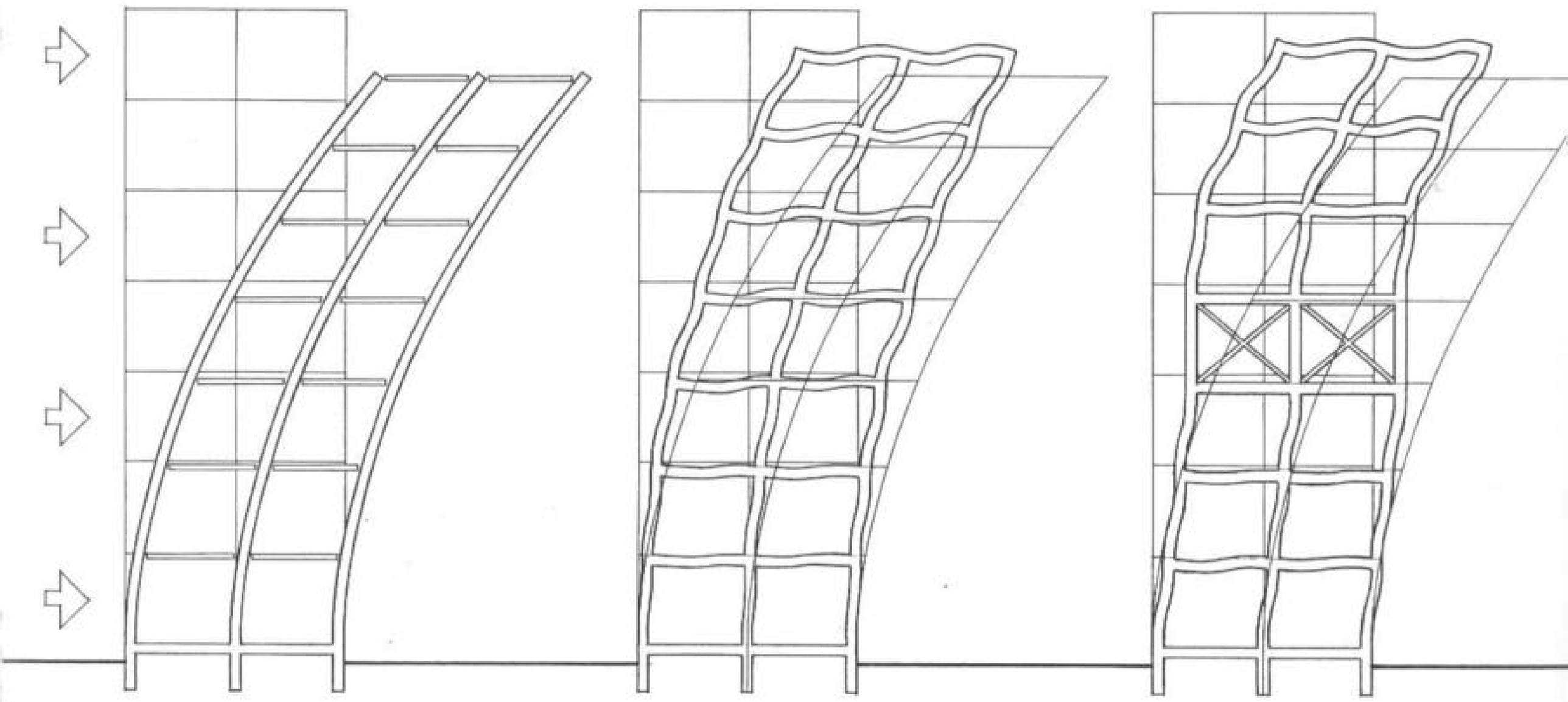
As forças horizontais, causadas por vento ou terremoto, produzem diferentes e complexos movimentos e deflexões em edifícios com predominância de extensão em altura.

A estabilização da estrutura do edifício contra estas deformações é uma das principais tarefas no projeto de estruturas de altura-ativa, o que pode inclusive definir a própria forma do edifício.



flexión / flexão — desplazamiento / deslizamento — vuelco / basculamento

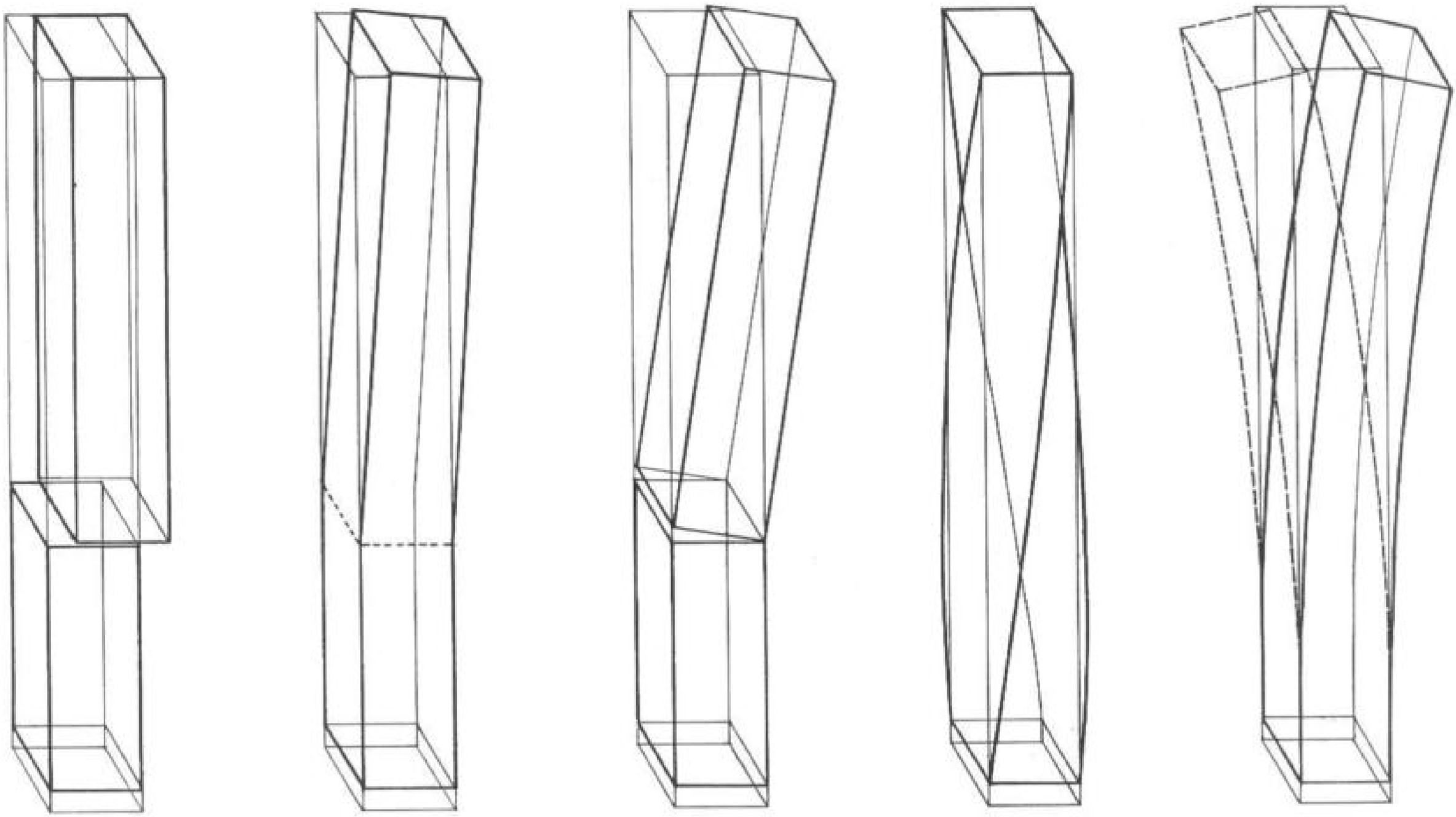
Deformación y rigidización en rascacielos de entramados rectangulares bajo la acción de cargas horizontales



Pilares empotrados con jácenas articuladas
Suportes de extremo fixo com vigas conectadas

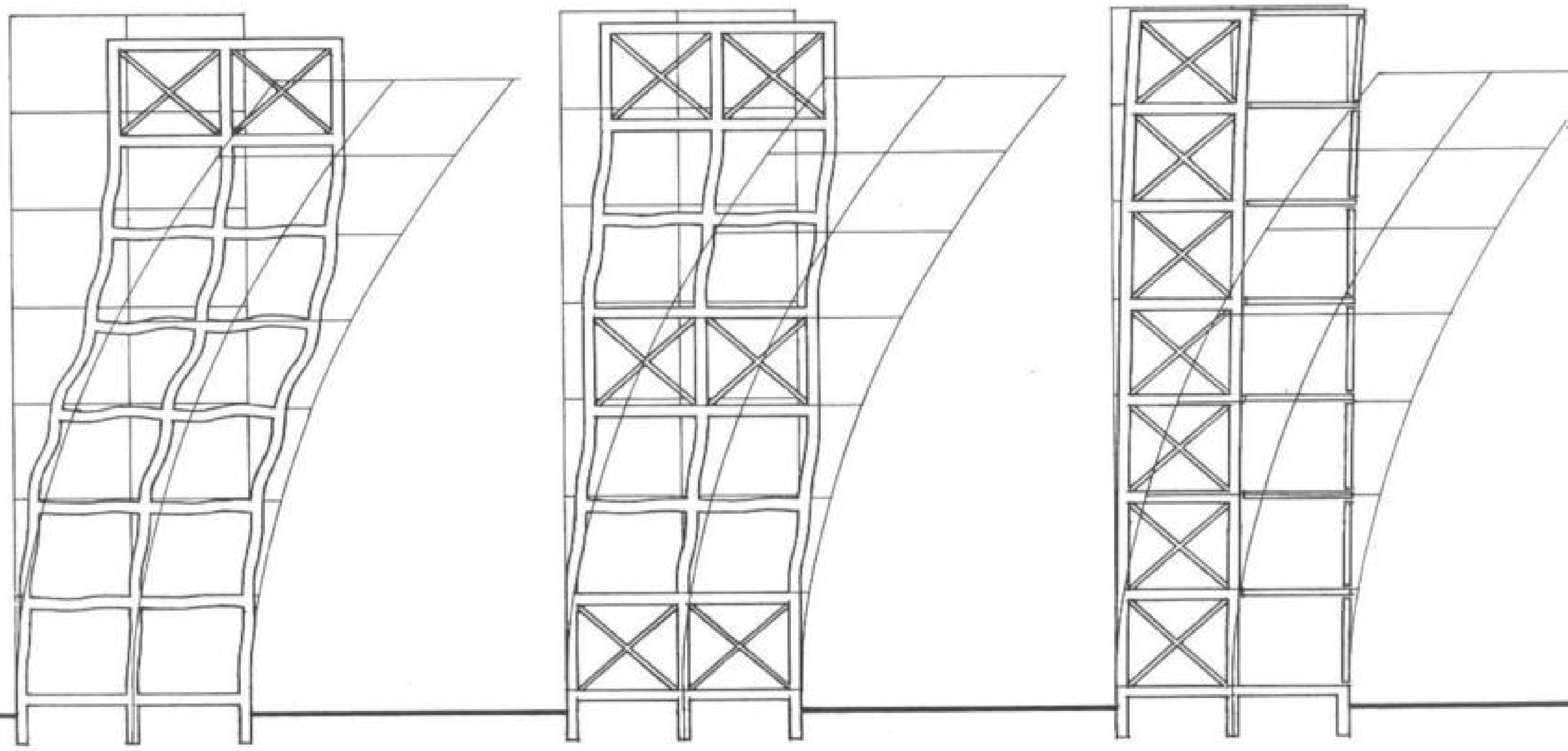
Entramado continuo de pórticos rígidos
Estrutura de pórticos rígidos contínuos

Entramado de pórticos con rigidización en la planta central
Estrutura de pórticos rígidos com pavimento reforçado a meia altura



cortadura / cisalhamento — doblado / flambagem — rotura / quebra — torsión / torsão — vibración / vibração

## Deflexão e reforço em edifícios altos de estrutura retangular sob cargas horizontais



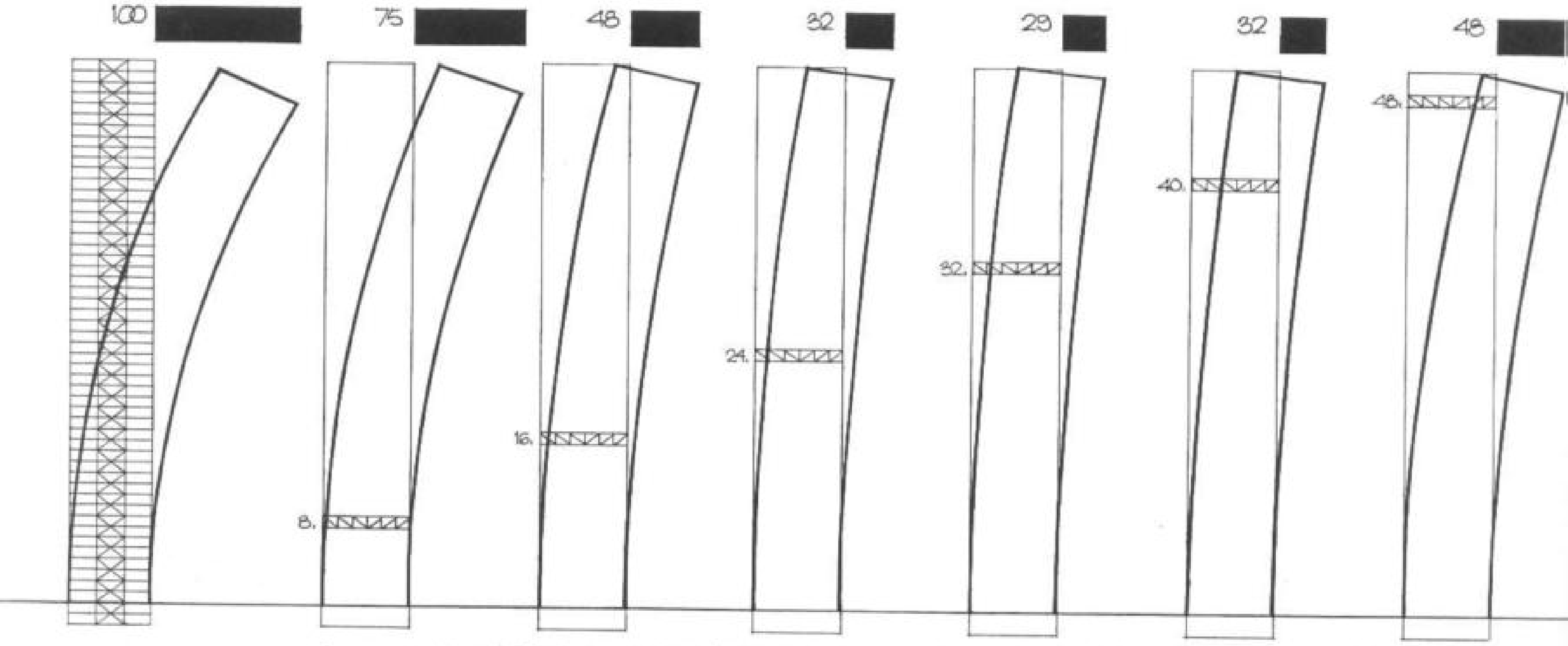
Entramado de pórticos con rigidización en la última planta
Estrutura de pórticos rígidos com reforço no pavimento superior

Entramado de pórticos con rigidizaciones en varias plantas
Estrutura de pórticos rígidos com reforço intermitente nos pavimentos

Entramado de pórticos con rigidizaciones en todas las plantas
Pórticos rígidos com reforços verticais em todos os pavimentos

## Influencia de la altura de las plantas rigidizadas en la rigidez relativa de los rascacielos

Ejemplo: rascacielos de 50 plantas con diferentes rigidizaciones (según Büttner y Hampe: *Bauwerk Tragwerk Tragstruktur*)

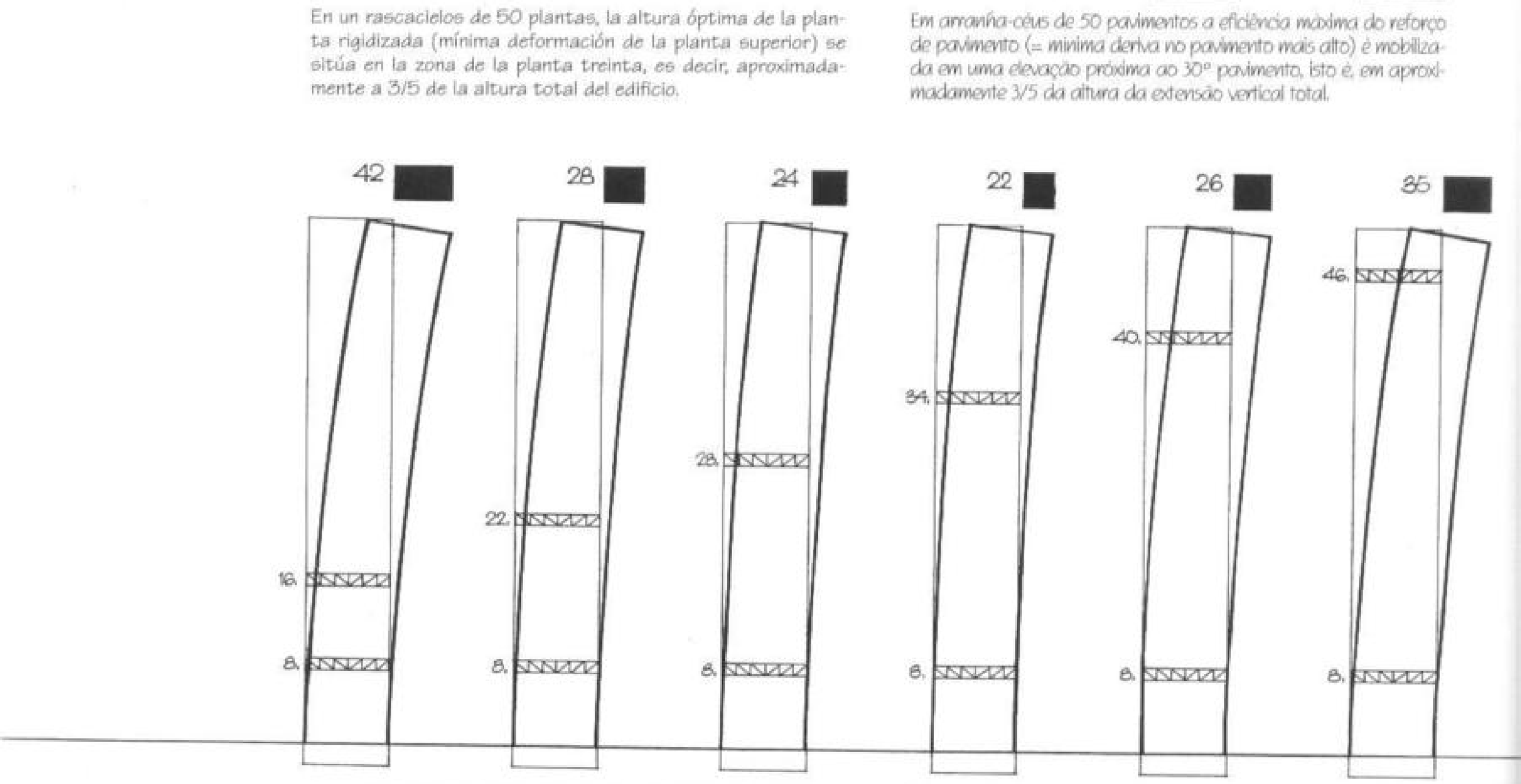



En un rascacielos de 50 plantas, la altura óptima de la planta rigidizada (mínima deformación de la planta superior) se sitúa en la zona de la planta treinta, es decir, aproximadamente a 3/5 de la altura total del edificio.

## Influência dos enrijecedores de pavimentos em elevações variadas sobre a relativa rigidez dos edifícios altos

Exemplo: edifício de 50 pavimentos com módulo único de reforço entrelaçado (segundo Büttner / Hampe: "Bauwerk Tragwerk Tragstruktur")

Em arranha-céus de 50 pavimentos a eficiência máxima do reforço de pavimento (= mínima deriva no pavimento mais alto) é mobilizada em uma elevação próxima ao 30º pavimento, isto é, em aproximadamente 3/5 da altura da extensão vertical total.

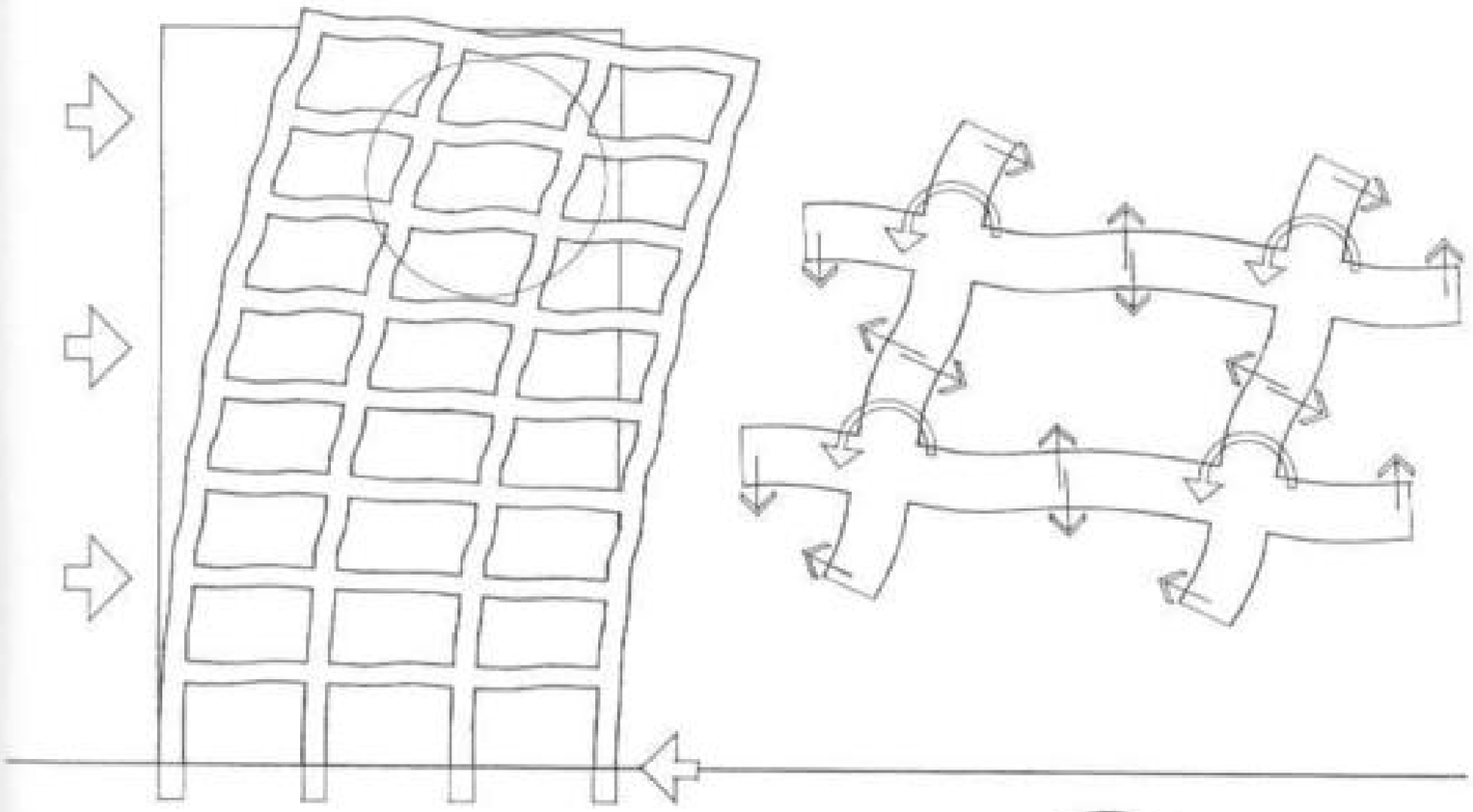



Rigidizando una segunda planta (en la 8ª planta) se aumenta considerablemente la rigidez del rascacielos (reducción de la deformación de la última planta). La máxima eficacia vuelve a estar en la planta 30.

Com a introdução de um segundo reforço de pavimento (8º pavimento) a rigidez estrutural será consideravelmente aumentada (redução da deriva no pavimento mais alto). Novamente a eficiência máxima é mobilizada numa elevação próxima ao 30º pavimento.

## Mecanismo resistente de los sistemas más típicos de rigidización

## Mecânicas de sistemas de reforços verticais típicos



### Sistema de pórticos rígidos

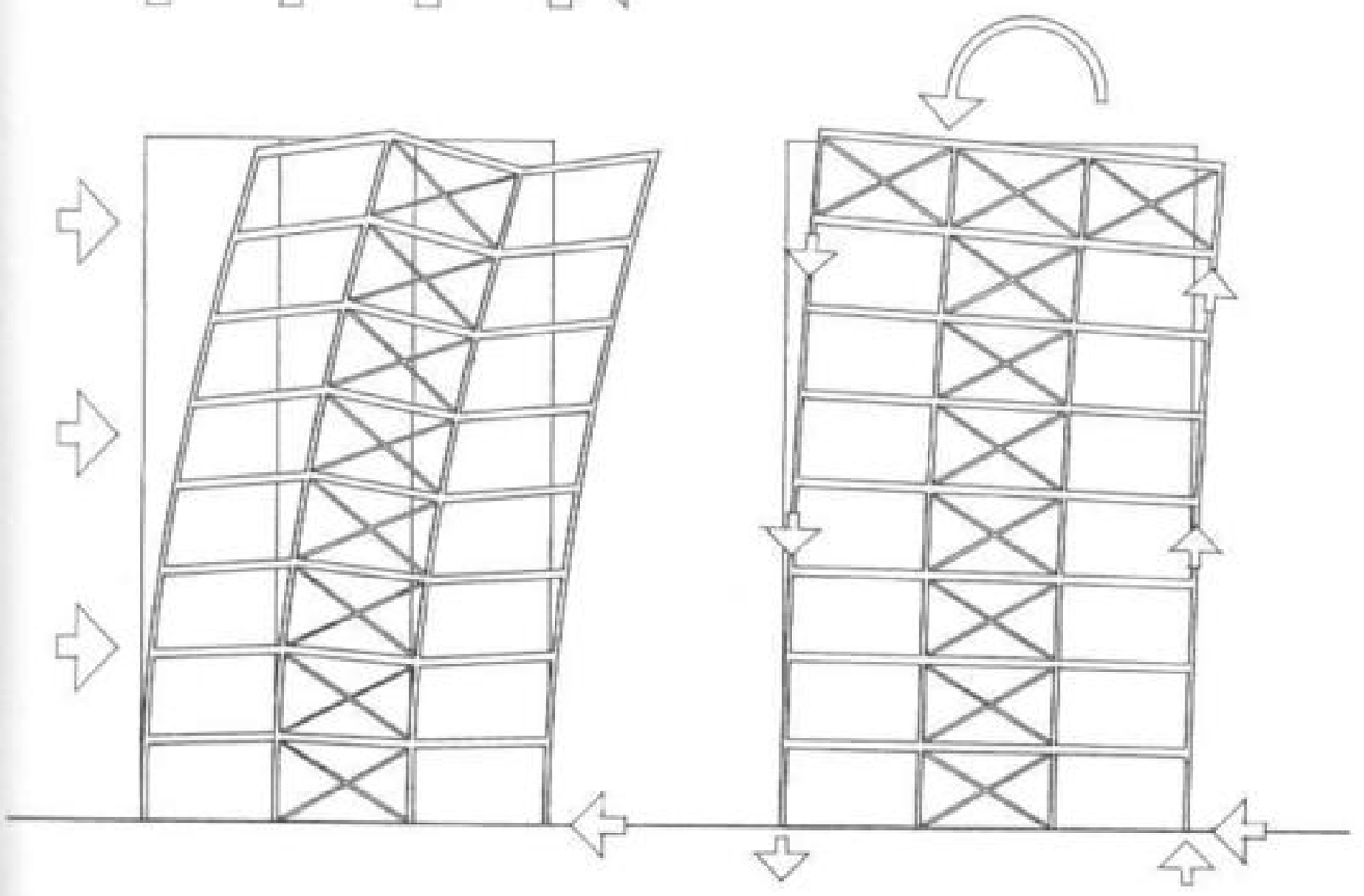
El sistema de pórticos rígidos como rigidización lateral (frente al viento y a los seísmos) se basa en la rigidez a flexión de los elementos del pórtico (pilares y vigas) y en la rigidez a flexión de los nudos.

Al deformarse debido a la acción de cargas laterales, aparecen fuerzas transversales en los pilares y en las vigas. Como consecuencia, se originan momentos de giro en los nudos debido a su rigidez que se oponen a la deformación.

### Sistema de pórtico rígido

O sistema de pórtico rígido para reforço lateral (contra o vento e terremoto) consiste na resistência à flexão dos elementos do pórtico (vigas e colunas) e na sua conexão rígida.

A deflexão devido às cargas laterais gerará forças cortantes transversais nas vigas e colunas do pórtico. Por causa da rigidez de conexão estas forças produzirão momentos rotativos nas juntas que reagem à deflexão.



### Sistema de rigidización superior

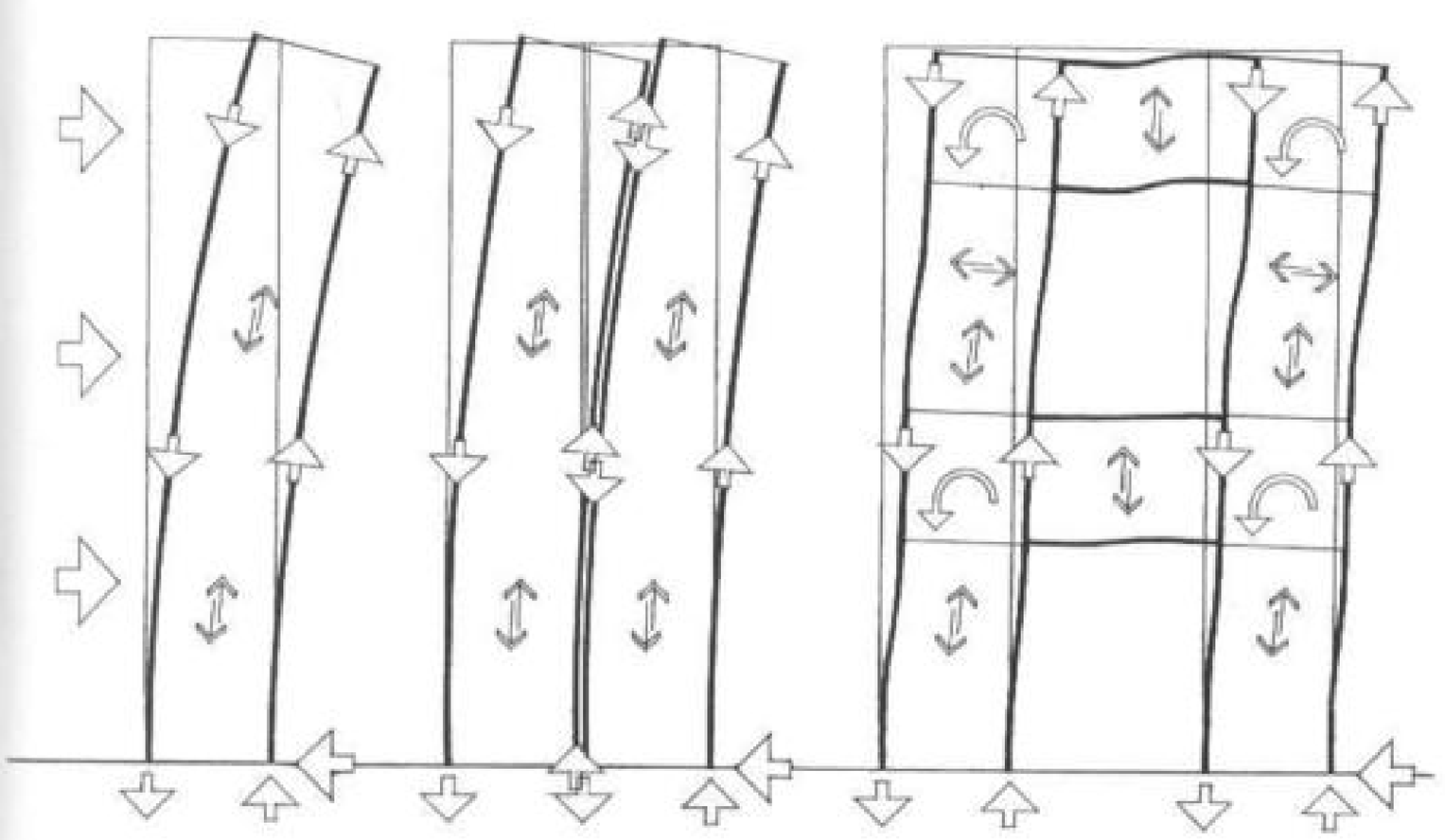
Rigidizando la última planta y uniéndola con la pared de arriostramiento se aumenta el mecanismo de rigidización.

Toda deformación de la pared de arriostramiento debido a la acción de cargas horizontales origina esfuerzos en los pilares exteriores. Los esfuerzos de tracción y compresión desarrollan –además de su resistencia directa– un momento opuesto que reduce considerablemente los esfuerzos de flexión y la deformación.

### Sistema de reforço de cabeça

Ao reforçar o pavimento mais alto e amarrá-lo com a parede cisalhada, a mecânica do reforço é consideravelmente aumentada.

Por meio do reforço de cabeça, cada deflexão da parede cisalhada forçará simultaneamente os suportes exteriores (devido à carga lateral). As forças de compressão e tensão resultantes desenvolvem –além de sua resistência direta– um momento oposto que reduzirá consideravelmente a deriva e os esforços de flexão.



### Sistema de tubos

La construcción de las paredes exteriores de manera que sean resistentes a los esfuerzos cortantes, así como la unión rígida entre ellas, es el principio en el que se basan las estructuras de tubos empotrados. Este sistema estructural es especialmente eficaz frente a las cargas horizontales debido a:

1. Participación de todos los pilares, nudos, antepechos, etc., en la resistencia lateral al viento.
2. Distribución óptima de los planos eficaces de resistencia.

### Sistema tubular

A construção de paredes exteriores resistentes ao cisalhamento e suas interconexões rígidas constituem os princípios fundamentais dos tubos de extremo fixo. Em relação ao carregamento lateral este sistema é particularmente efetivo devido a:

1. Inclusão de todos os apoios, juntas, unidades de amarração, etc. das paredes exteriores dentro do mecanismo de resistência lateral.
2. Ótima dispersão dos planos de resistência operativos.

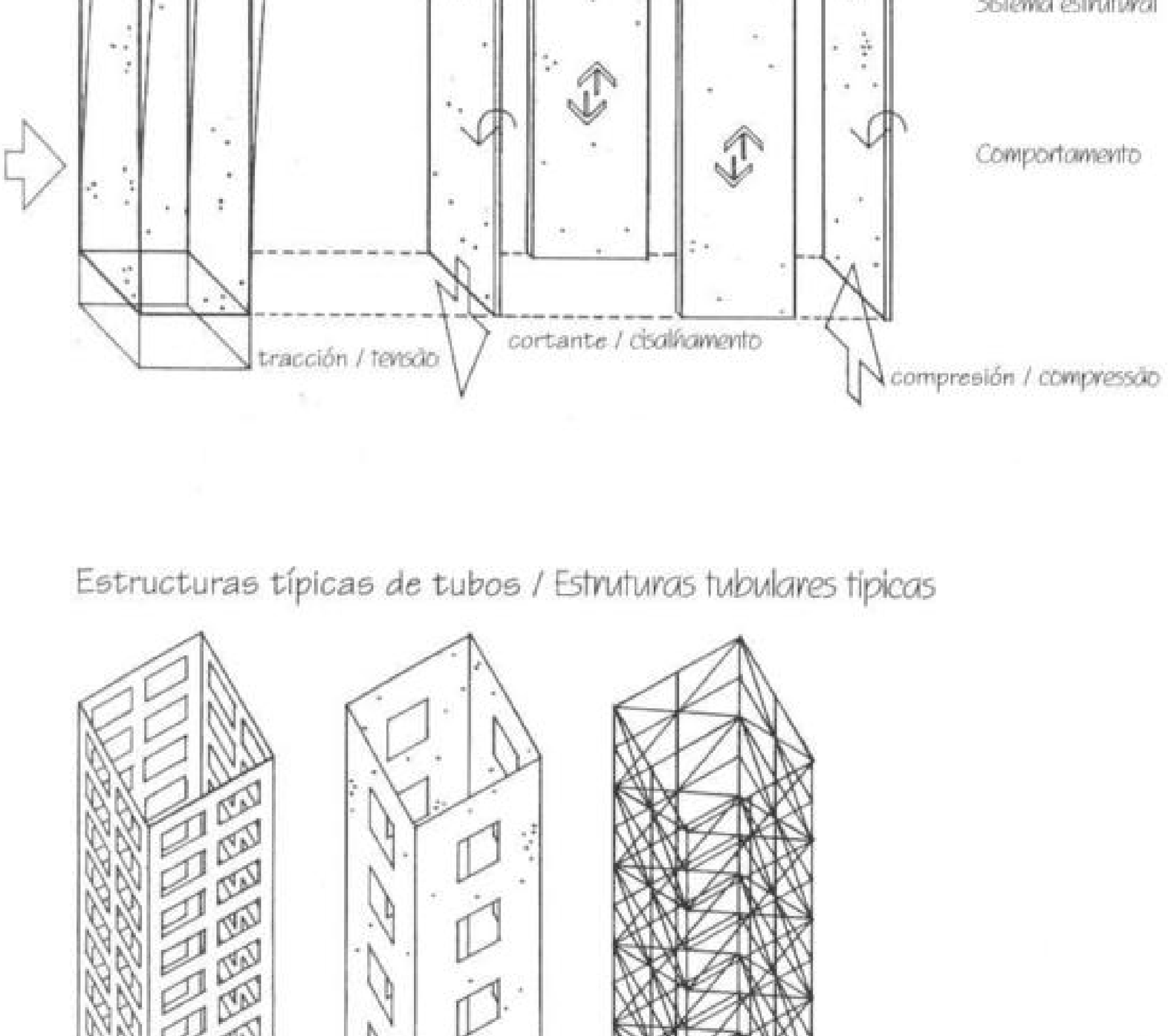
## El principio de los tubos de rigidización vertical
## O princípio tubular de reforço vertical

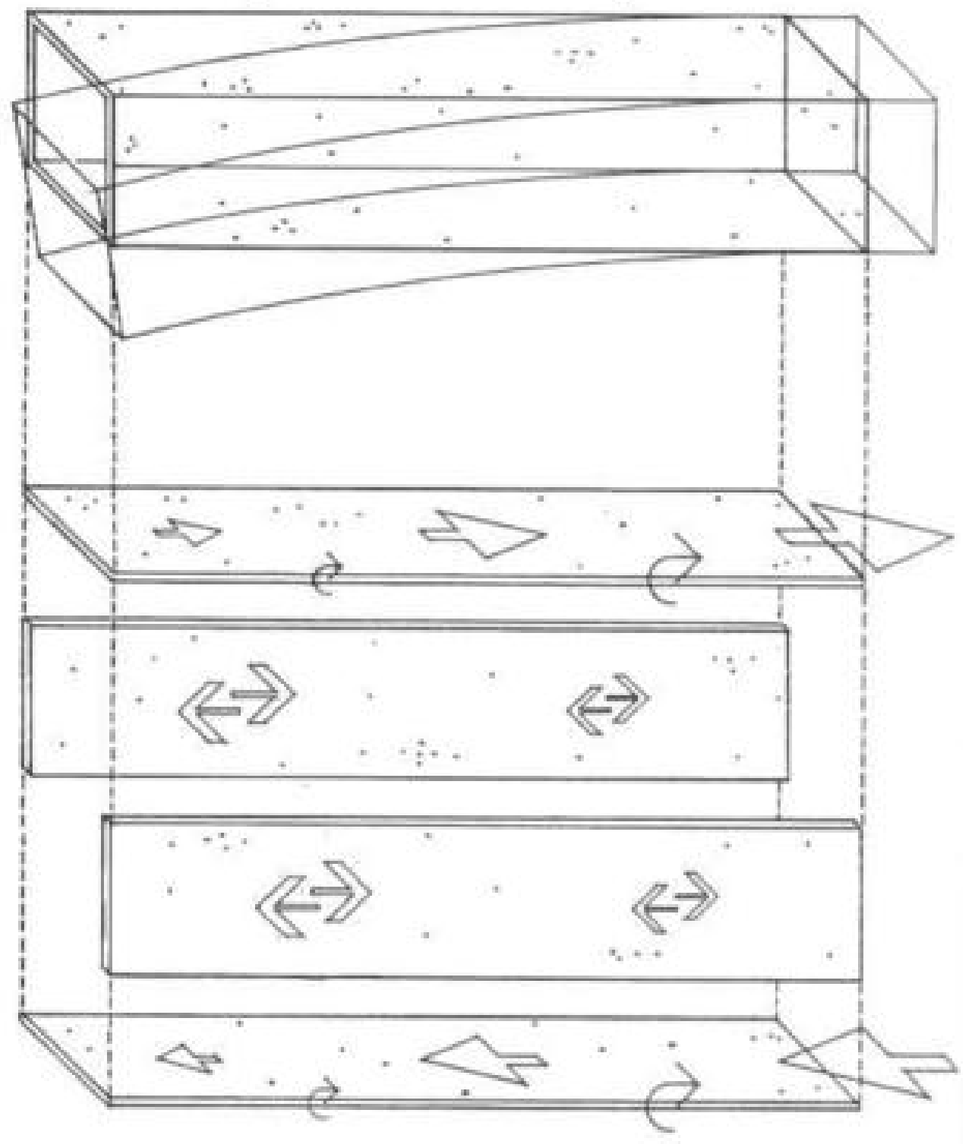
Sistema estructural
1 Construcción de todas las paredes exteriores como viga en voladizo vertical resistente a esfuerzos cortantes, de compresión y de tracción.
2 Unión rígida de todas las paredes exteriores para formar una única carcasa vertical portante = tubos en voladizo.

Comportamiento
Las dos paredes exteriores situadas en la dirección del viento están sometidas a esfuerzos cortantes, las otras dos actúan como elementos a compresión o tracción y resistentes a flexión. Es decir, la estructura de los pilares exteriores para transmitir las cargas verticales se incorpora por completo al mecanismo resistente frente a las cargas horizontales.

Sistema estrutural
1 Construção de cada parede externa como uma viga vertical em balanço resistente a cisalhamento e esforços de compressão e tensão.
2 Conexão rígida das paredes externas para formar uma carcaça vertical = tubo em balanço.

Comportamento
As paredes externas resistem na direção de atuação do vento como paredes cisalhadas, as outras duas como elementos de compressão ou tensão, também como agentes resistentes à flexão, isto é, as colunas externas para transmissão de cargas verticais também estão completamente integradas dentro dos mecanismos de resistência contrários às forças laterais.

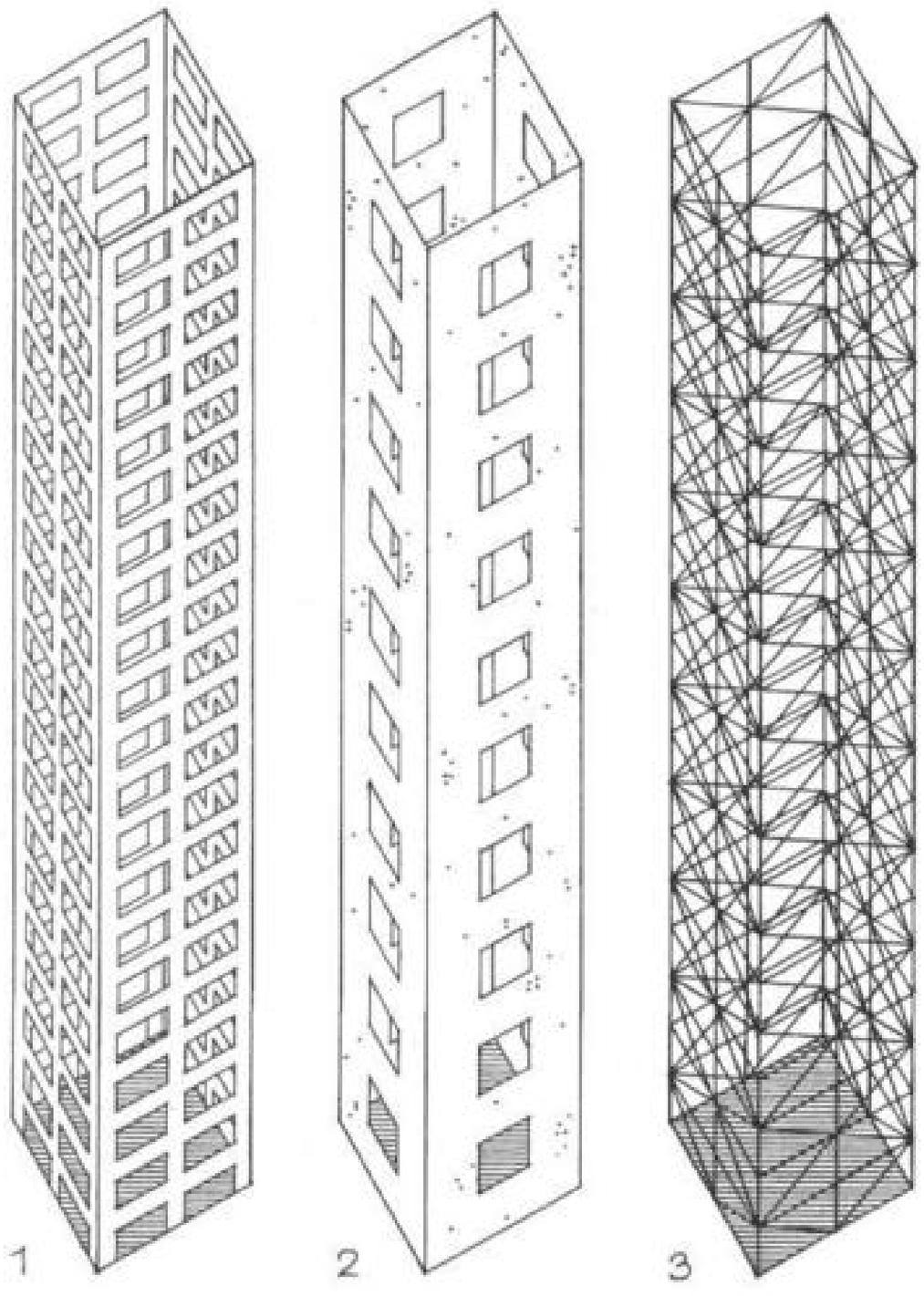


El comportamiento estructural de los rascacielos construidos con tubos es similar al de una viga en voladizo de sección rectangular bajo cargas verticales.

A ação mecânica do arranha-céu tubular é idêntica ao comportamento de uma viga horizontal em forma de caixa em balanço sob carga horizontal.

### Estructuras típicas de tubos / Estruturas tubulares típicas




1 Pórticos de tubos — Torre de pórticos rígidos
2 Láminas de tubos — Torre de placa estrutural
3 Celosías de tubos — Torre entrelaçada

## Mecanismo de rigidización de las estructuras combinadas de pórticos y paredes resistentes a esfuerzos cortantes

## Estabilização mecânica combinada de pórtico e parede cisalhada

máximo

máximo

Estructura de pórticos y paredes resistentes a esfuerzos cortantes
*Sistema de pórtico e parede cisalhada*

Comportamiento de los pórticos y de las paredes resistentes a esfuerzos cortantes y su rigidización mutua
*Comportamento de pórtico rígido e parede cisalhada e sua mútua estabilização*

Diseño idealizado de una estructura
*Desenho idealizado de estrutura*

En las estructuras de PORTICOS RÍGIDOS aparecen grandes deformaciones horizontales debidas al esfuerzo cortante, cuyo máximo valor se da en la base. La rigidez de la estructura depende de la parte superior.
En las estructuras con PAREDES RESISTENTES A ESFUERZOS CORTANTES, el momento flector produce un desplazamiento, de valor máximo en el plano más alto. La rigidez de la estructura depende de la parte inferior.
En las estructuras COMBINADAS las deformaciones de signo opuesto se contrarrestan. Ello reduce en gran medida la deformación global.

*Nas estruturas de PÓRTICO RÍGIDO desenvolvem-se grandes empuxos horizontais de deformação, de valor máximo na base. O sistema de reforço, assim, está na parte mais alta.*
*Em estruturas de PAREDE CISALHADA desenvolvem-se grandes flexões de deformações horizontais, de valor máximo no topo. O sistema de reforço, assim, está na parte mais baixa.*
*Através da COMBINAÇÃO, as duas deformações opostas afetam-se mutuamente. A deformação total da estrutura, por este motivo, será consideravelmente reduzida.*

## Rigidización mediante mecanismos de atirantamiento
## Estructuras de pilares atirantados

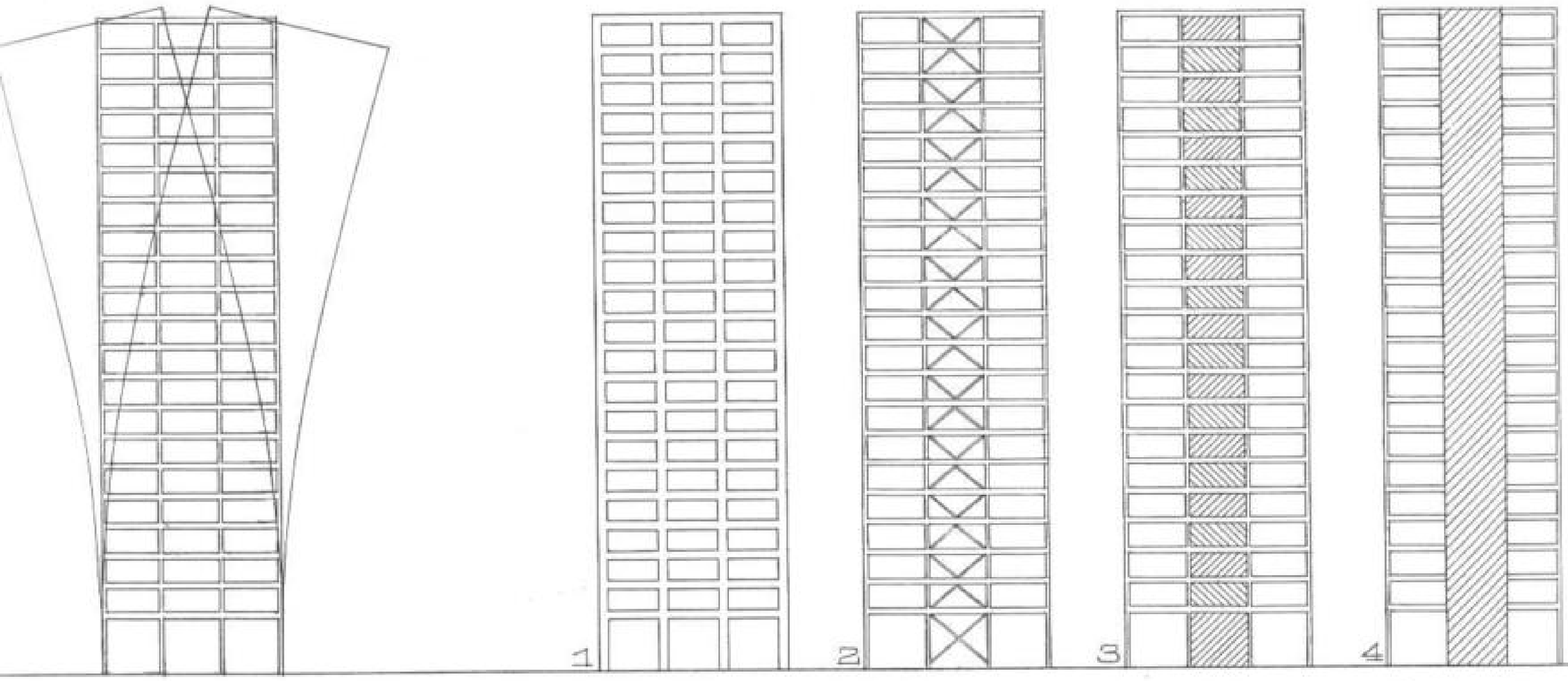
## Estabilização por mecanismo de suspensão
## Sistema de pilares atirantados

Introduciendo un mecanismo de rigidización mediante cables de atirantado en el sistema de transmisión vertical de las cargas se crean las estructuras de PILARES ATIRANTADOS, los cables pretensados dentro de pilares inclinados impiden la deformación crítica.

*Incorporar mecanismos de estabilização por cabos atirantados dentro do sistema de transmissão de carga vertical conduz ao sistema de PILARES ATIRANTADOS. Cabos pretensionados dentro de colunas obliquas bifurcadas previnem deformações críticas.*

## Principales mecanismos para rigidizar estructuras verticalmente

## Principais mecanismos para reforços verticais de estruturas




1 Falta de resistencia frente a cargas horizontales
Falta de resistência contra cargas horizontais

2 Pórtico continuo
Pórticos rígidos continuos

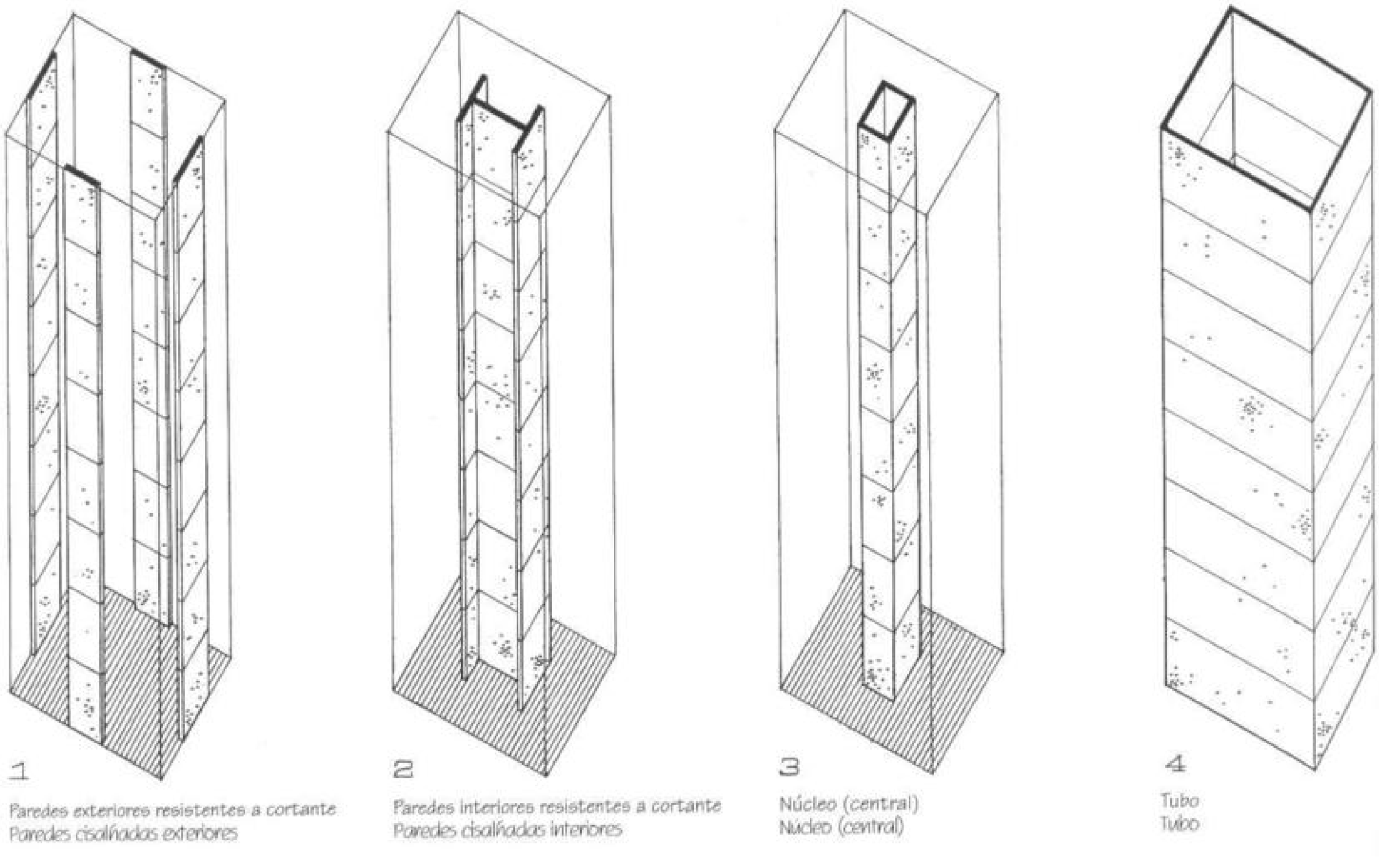
3 Celosía
Armação entreliçada

4 Relleno macizo
Placas estruturais

5 Lámina continua
Parede cisalhada continua

## Formas normalizadas de rigidización vertical

## Formas padrão de sistemas de estabilização vertical

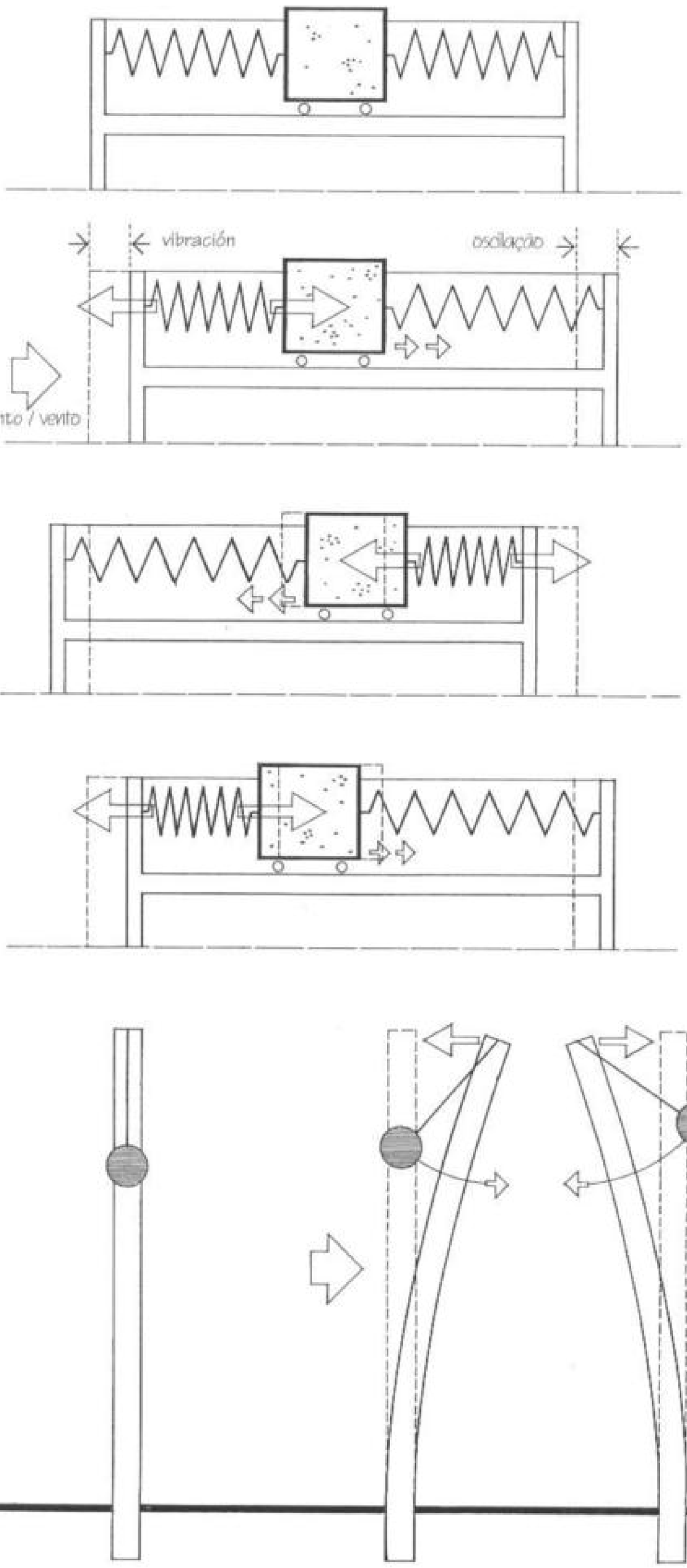


1 Paredes exteriores resistentes a cortante
Paredes cisalhadas exteriores

2 Paredes interiores resistentes a cortante
Paredes cisalhadas interiores

3 Núcleo (central)
Núcleo (central)

4 Tubo
Tubo




El comportamiento del amortiguador de vibraciones se puede comparar con el movimiento pendular de un cuerpo suspendido del extremo de poste. El péndulo se mueve en sentido opuesto a la vibración del poste y reduce su deformación.

## Amortiguadores dinámicos de vibraciones en rascacielos
## Amortecedores de vibração dinâmica em estruturas de arranha-céus

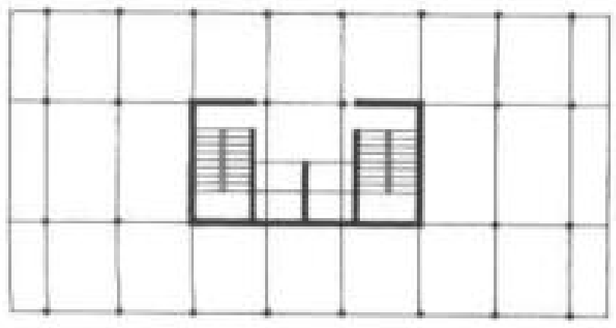
Un cuerpo pesado sobre apoyos móviles –unido lateralmente mediante muelles con el punto más alto del rascacielos y con el mismo período de vibración que el edificio– se comporta como estabilizador frente a las vibraciones provocadas por el viento: amortiguador de vibraciones.
Debido a la acción elástica, los movimientos del edificio hacen de masa del sólido oscilante justo en dirección opuesta –antirresonancia–. Por ello, la oscilación del edificio se reducirá o se eliminará del todo.

Um sólido pesado sobre apoios móveis –lateralmente suieitados ao topo do arranha-céus por molas e tendo igual período de oscilação que o edifício– comporta-se como um agente estabilizador contra a oscilação causada pelo vento: um amortecedor dinâmico de vento.
Devido a ação das estruturas elásticas, os movimentos do edifício fazem a massa do sólido oscilar apenas na direção oposta –anti-ressonância. Por este motivo a oscilação do edifício será reduzida ou completamente amortecida.

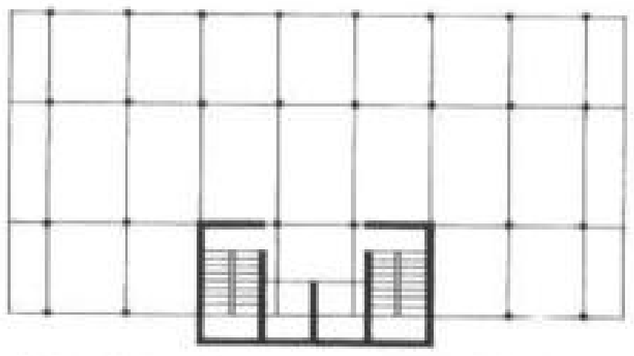
O comportamento do "amortecedor dinâmico de vento" pode ser comparado com o movimento de oscilação de uma pesada massa suspendida no topo de uma barra. O pêndulo atua contrariamente à oscilação da barra reduzindo assim a deriva.

Incorporación de la rigidización frente al viento en la distribución en planta

Incorporação de mecanismo de enrijecimento contra o vento na distribuição em planta

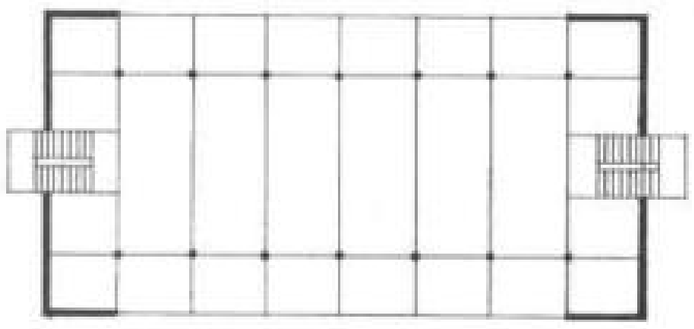


núcleo central — núcleo central

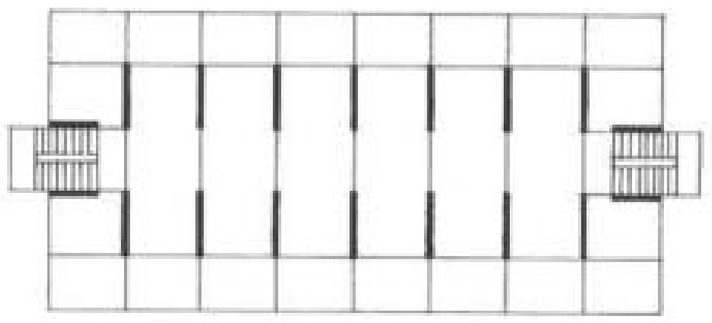


núcleo lateral — núcleo lateral

Elementos estructurales de rigidización frente al viento
Elementos estruturais para reforços contra o vento



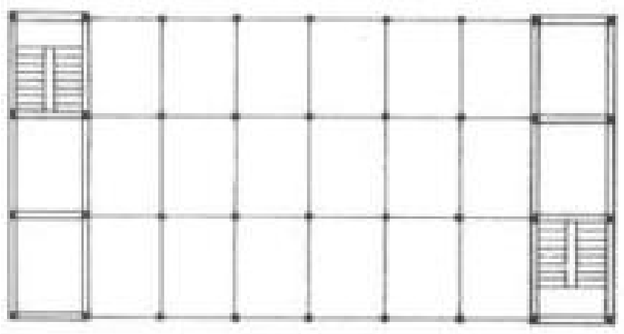
muros exteriores — paredes exteriores



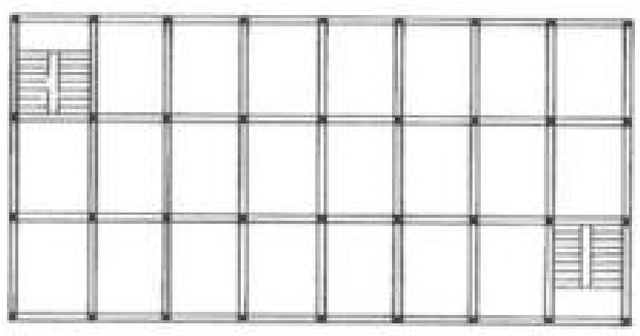
tabiques interiores — paredes divisórias

Paredes del núcleo de circulación
Paredes do núcleo de circulação

Muros exteriores o tabiques interiores
Paredes externas ou pardes divisórias

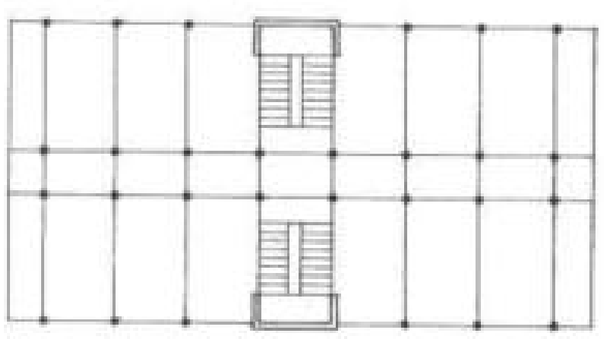


pórticos en los extremos — pórticos nos extremos

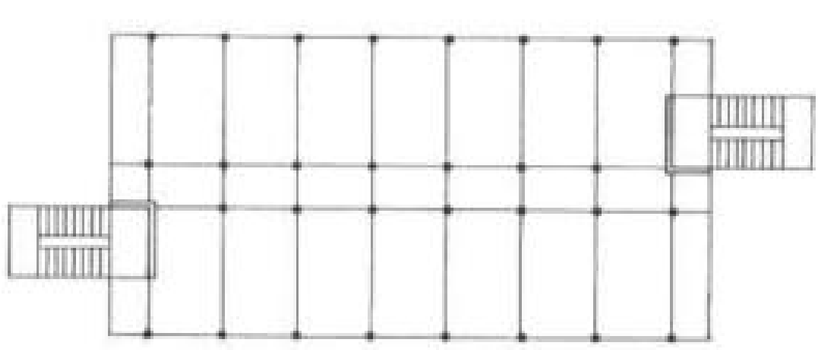


en todo el entramado — esqueleto completo

Pilares y jácenas (pórticos)
Pilares e vigas (pórticos)



cajas de escaleras centrales — vãos centrais de escada



cajas de escaleras en testero — escadas de final de parede

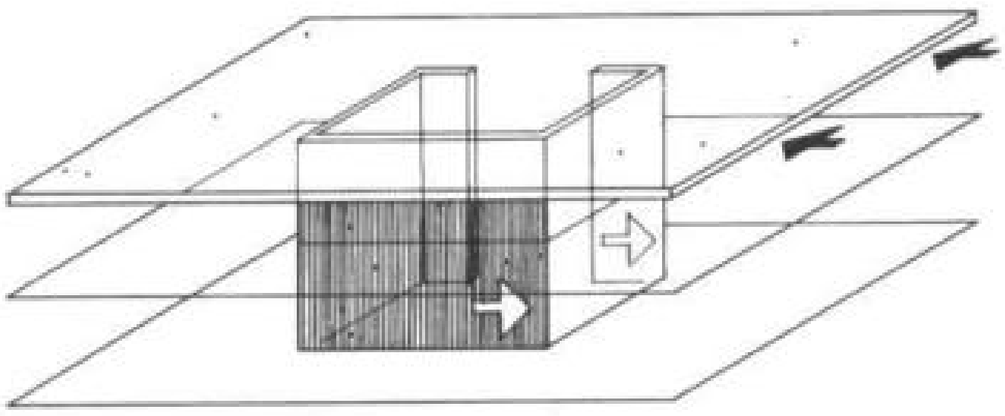
Partes de la caja de escalera
Seções da caixa de escada

## Resistencia al viento en sentido longitudinal y transversal

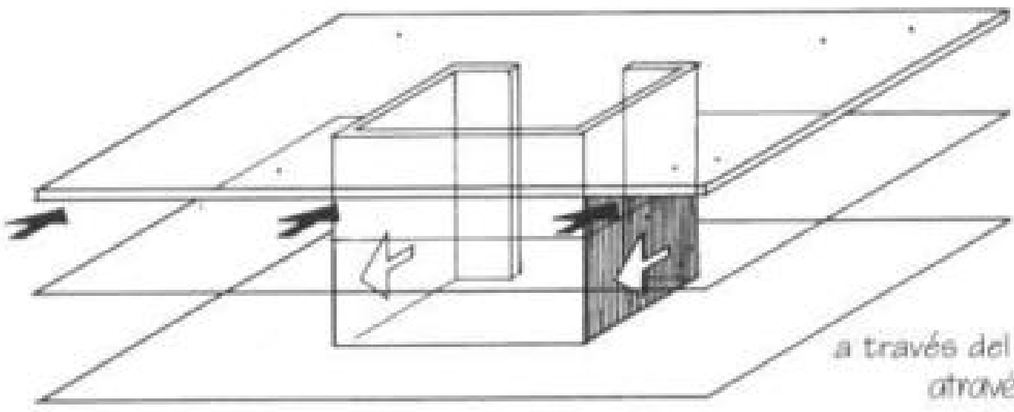
(referida a las plantas de la página anterior)

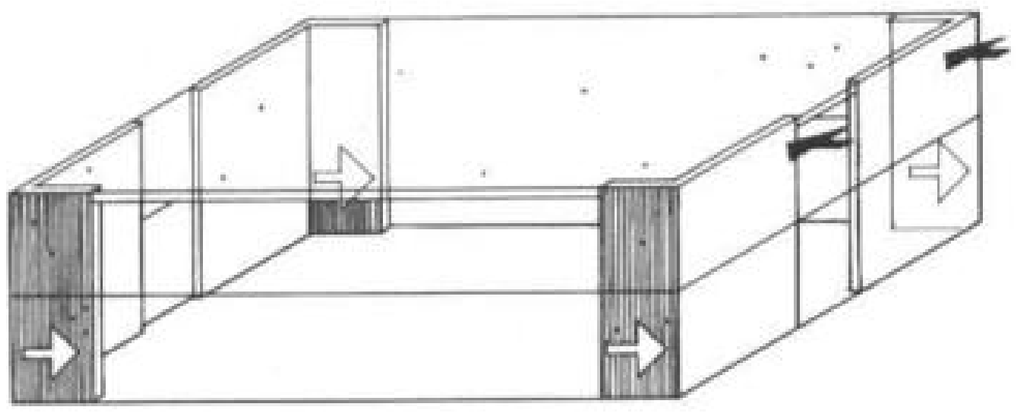
## Resistência ao vento em sentido longitudinal e transversal

(relacionado às plantas de pavimentos da página anterior)

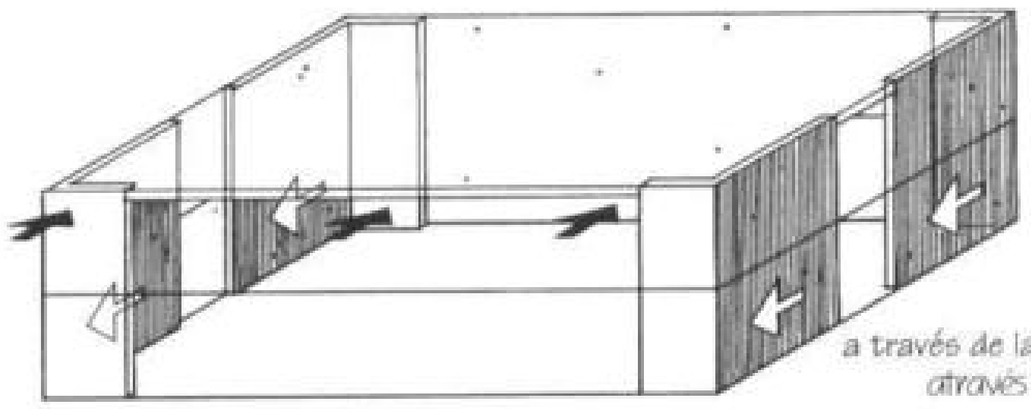


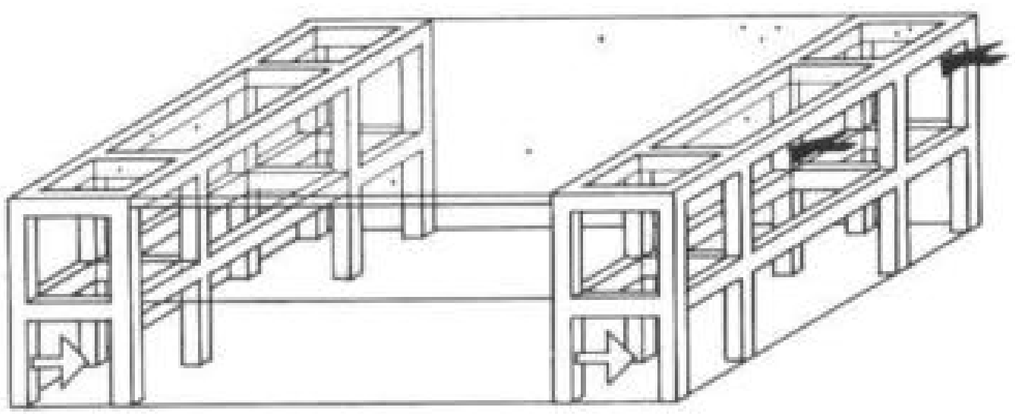
a través del núcleo de circulación
através da circulação central



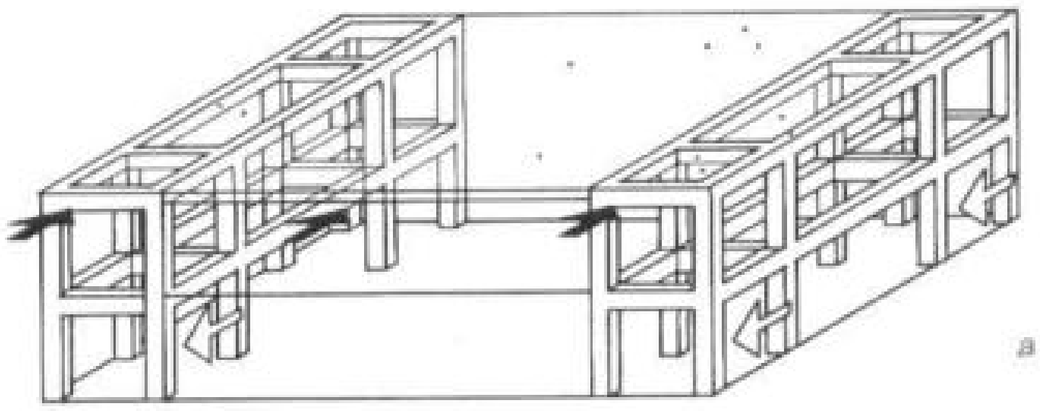


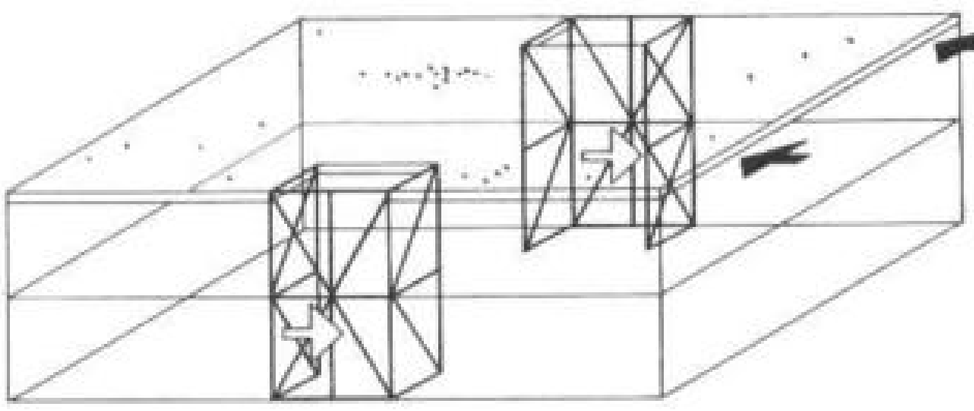
a través de las paredes exteriores
através de paredes exteriores



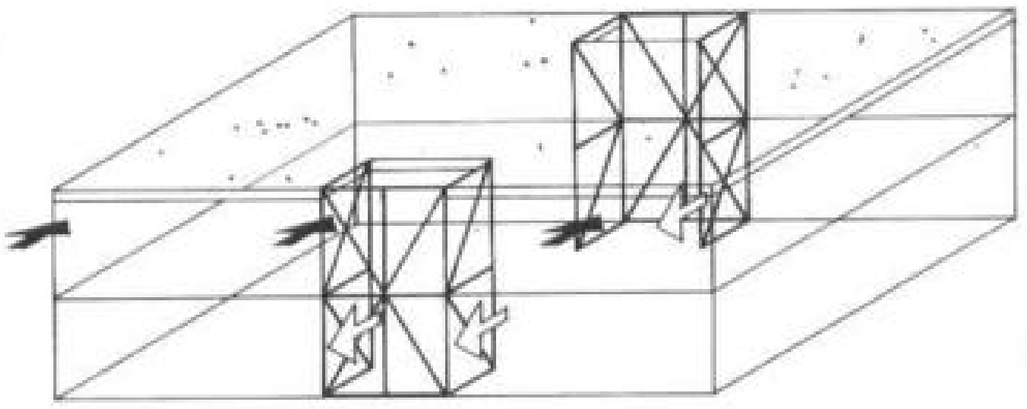


a través de pórticos
através de pórticos



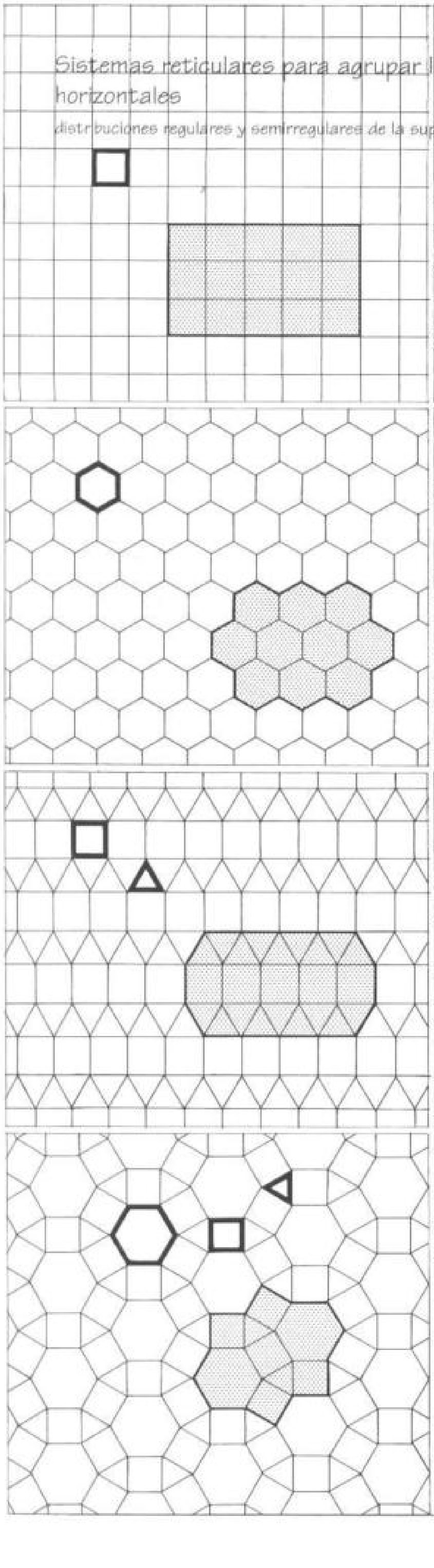


a través de celosías
através de treliças



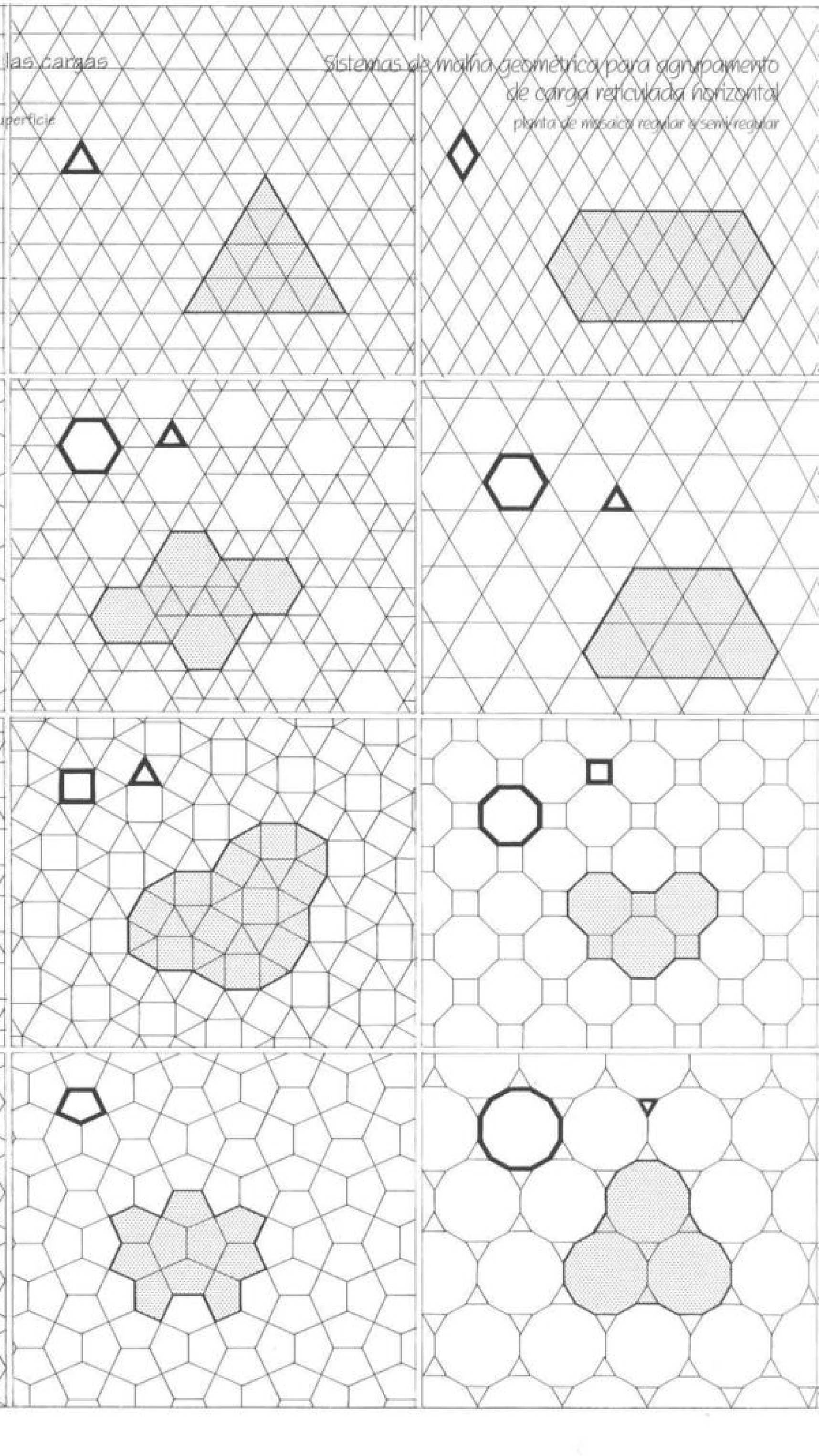
Sistemas reticulares para agrupar las cargas horizontales

distribuciones regulares y semirregulares de la superficie



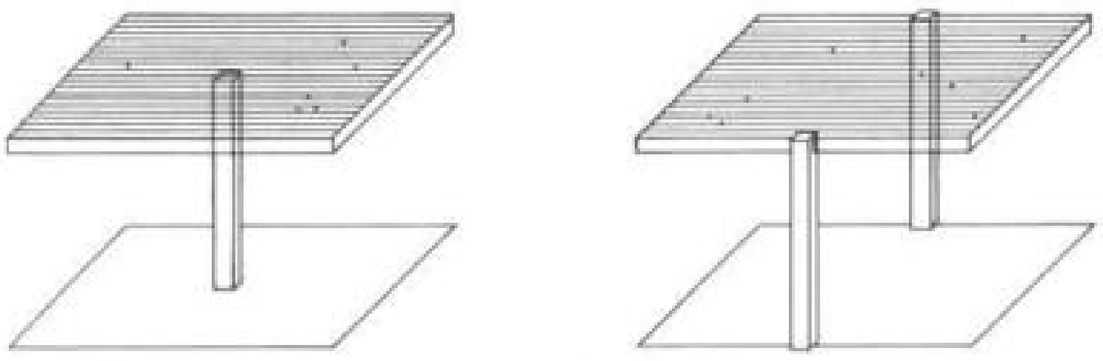
Sistemas de malha geométrica para agrupamento de carga reticulada horizontal

planta de mosaico regular e semi-regular

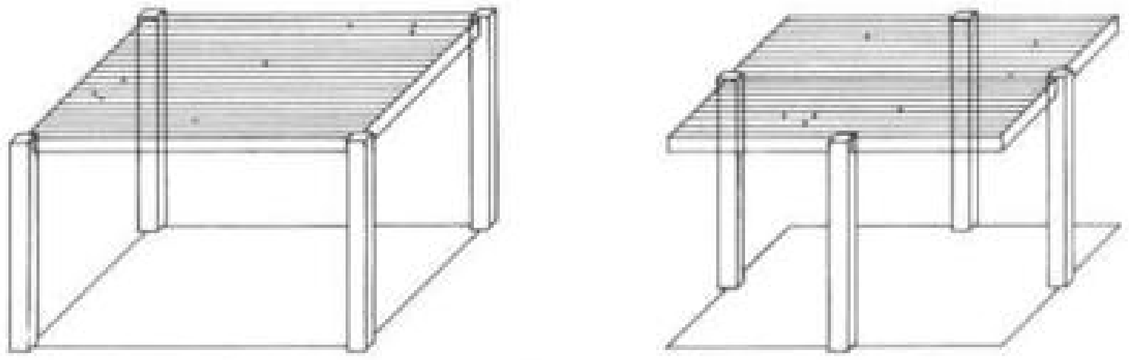


## Transmisión vertical de las cargas en sistemas reticulares de forma cuadrada

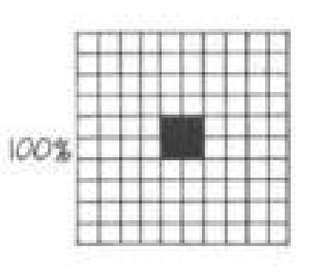
## Transmissão de carga vertical em sistemas modulares quadrados

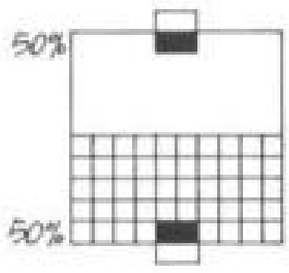


posición de los puntos de cargas en relación con la retícula

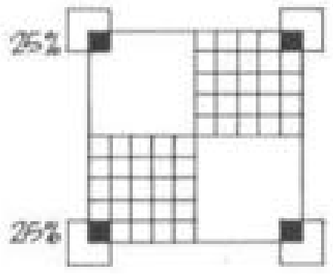


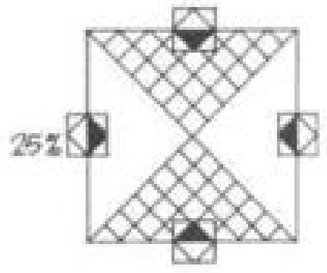
localização dos pontos de absorção de carga com relação à unidade modular



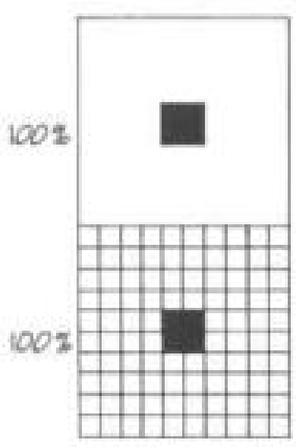



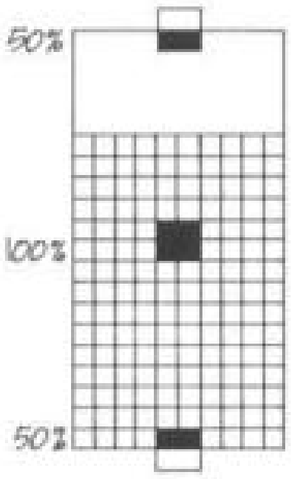

porcentaje de carga de la unidad reticular por punto de absorción de cargas

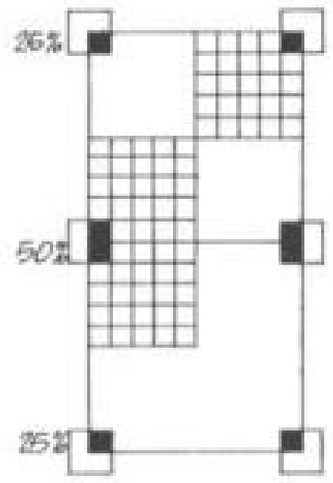


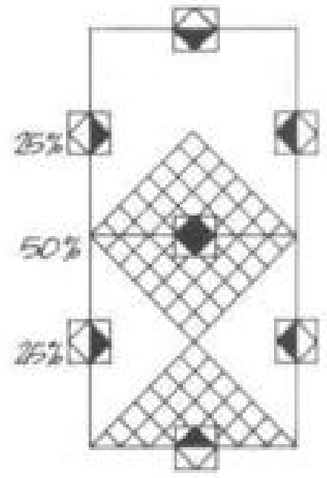



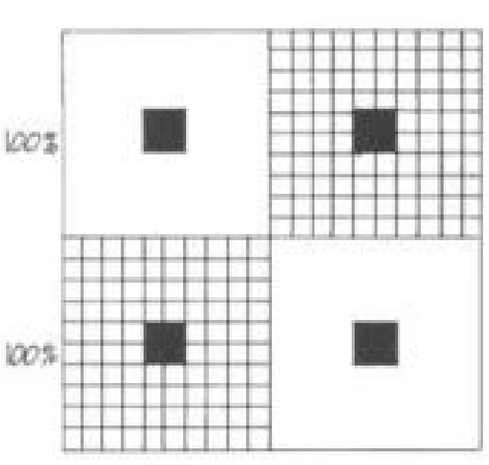

percentagem de carga da unidade modular por ponto de absorção de carga

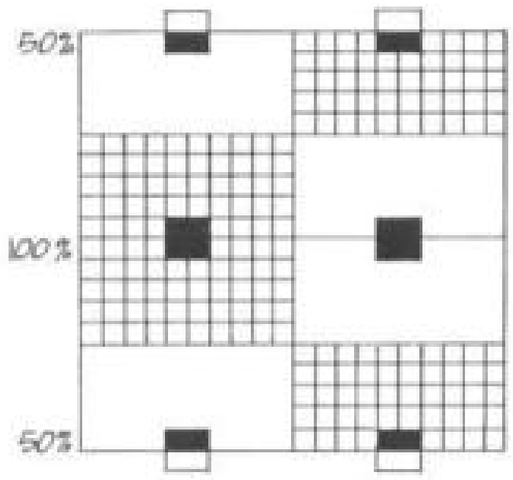


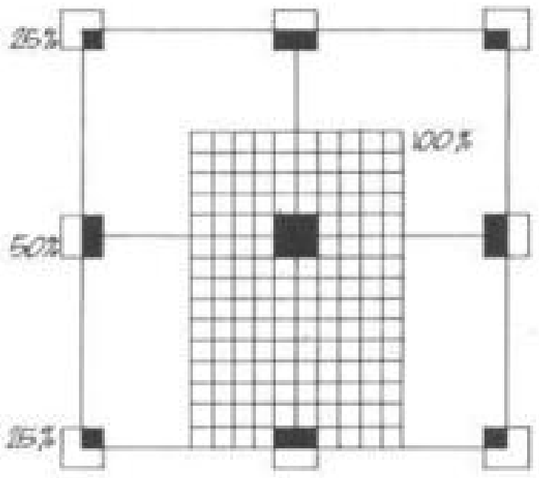



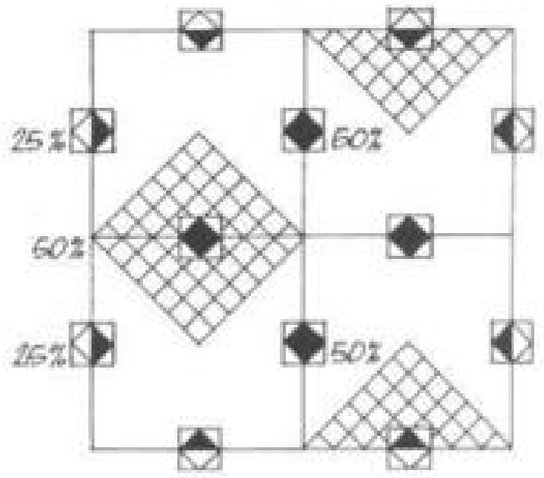



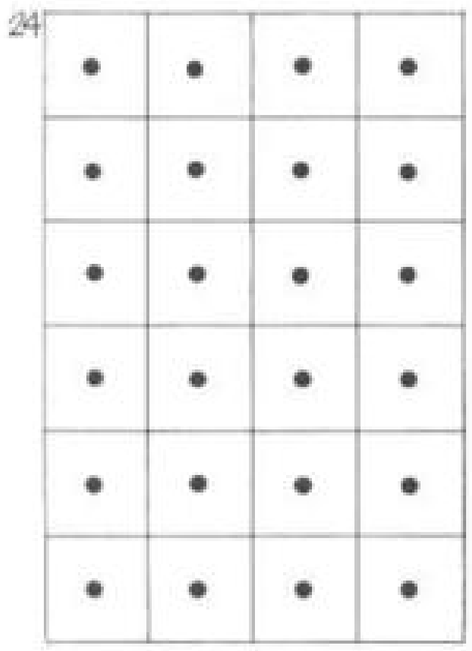



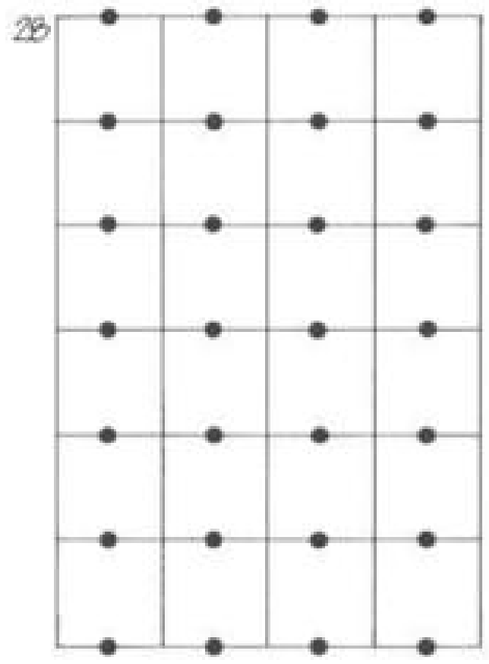



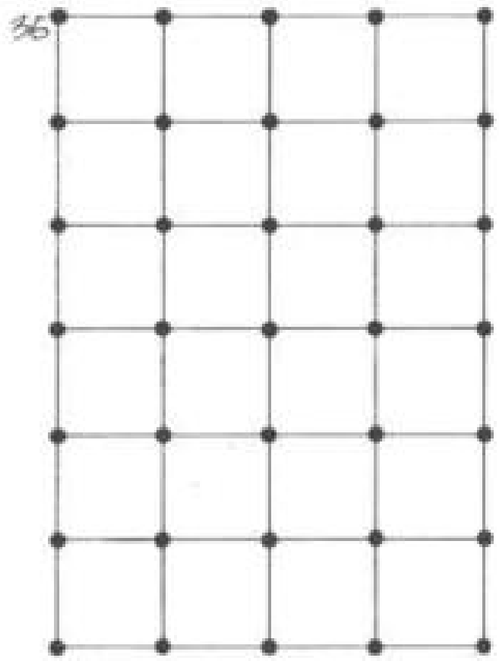



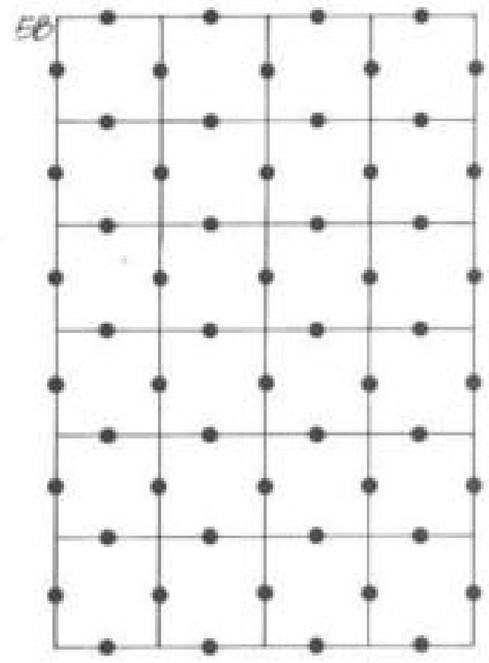

frecuencia de los puntos de agrupación de cargas para retículas con 24 unidades




frequência de pontos de absorção de carga para 24 unidades modulares



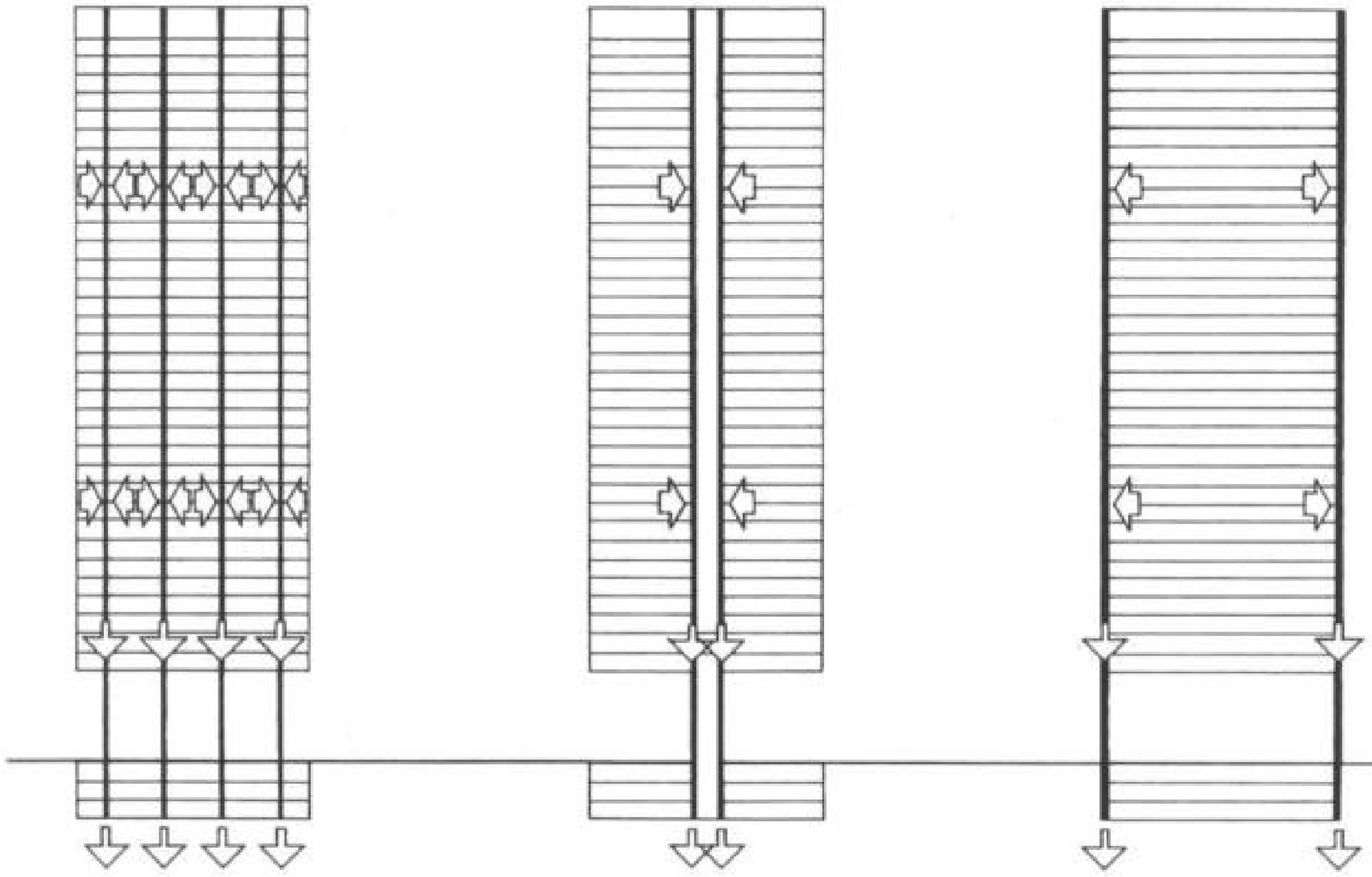



## Principales sistemas de agrupación y transmisión de cargas

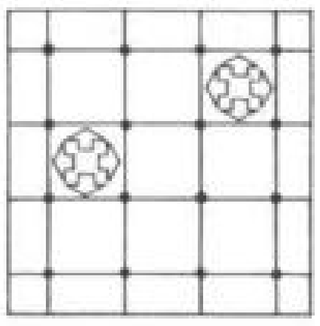
## Sistemas principais de absorção de carga e transmissão de carga

agrupación horizontal de las cargas
y transmisión vertical de las cargas

absorção horizontal da carga
e transmissão vertical da carga

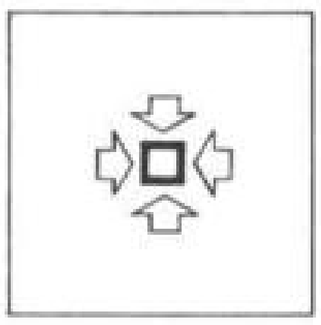


Sistema reticular / Sistema modular
distribución uniforme de los puntos de agrupación de cargas
pontos de absorção da carga distribuídos uniformemente

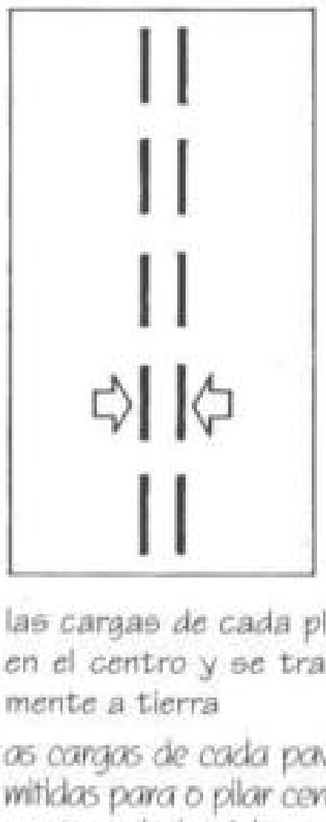


las cargas de cada planta se agrupan por unidad de superficie (retícula) y se transmiten individualmente

as cargas de cada pavimento são reunidas por unidade de área (reticula) e são transmitidas à base individualmente



Sistema nuclear / Sistema em balanço
puntos de agrupación de cargas en el centro
pontos de absorção da carga no centro

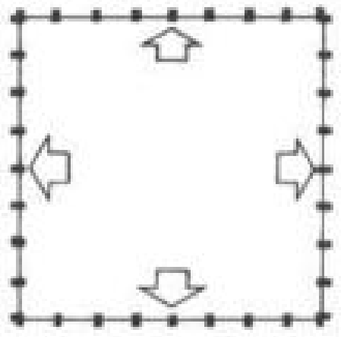


las cargas de cada planta se agrupan en el centro y se transmiten centralmente a tierra

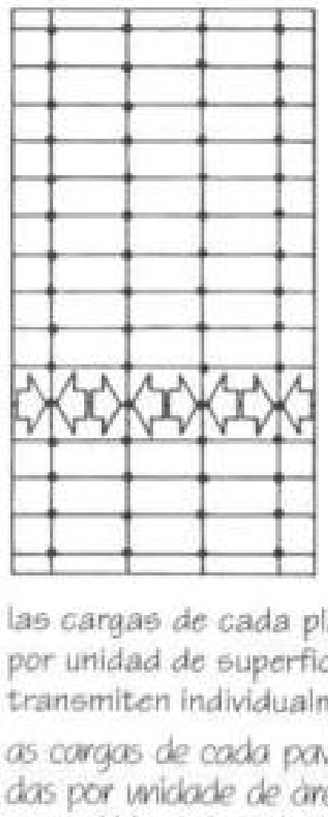
as cargas de cada pavimento são transmitidas para o pilar central, e são centralmente enviadas à base



Sistema perimetral / Sistema de vão livre
puntos de agrupación de cargas en la piel exterior
pontos de absorção da carga na face externa da construção



forma de torre / forma de torre
dos direcciones portantes
direção do vão em dois sentidos



forma de lámina / forma de laje
una dirección portante
direção do vão em um sentido

las cargas de cada planta se agrupan por unidad de superficie (retícula) y se transmiten individualmente

as cargas de cada pavimento são reunidas por unidade de área (reticula) e são transmitidas à base individualmente

las cargas de cada planta se agrupan en el centro y se transmiten centralmente a tierra

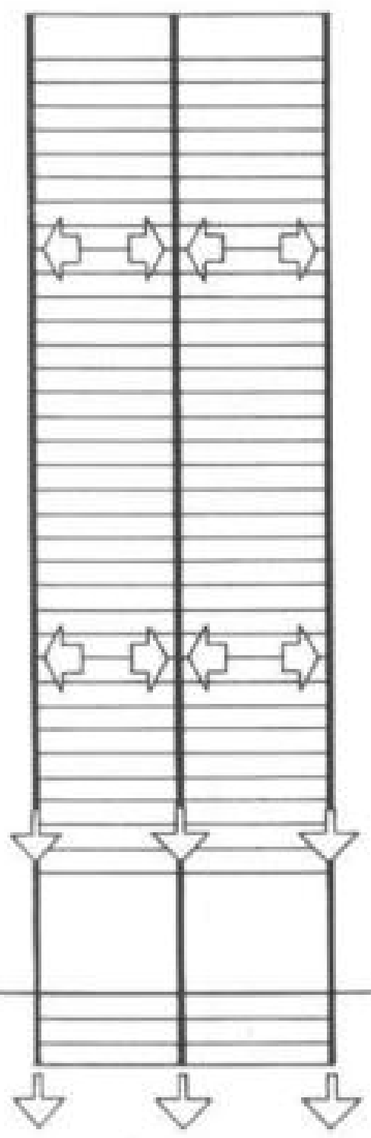
as cargas de cada pavimento são transmitidas para o pilar central, e são centralmente enviadas à base

las cargas de cada planta se agrupan en el perímetro y se transmiten periféricamente a tierra

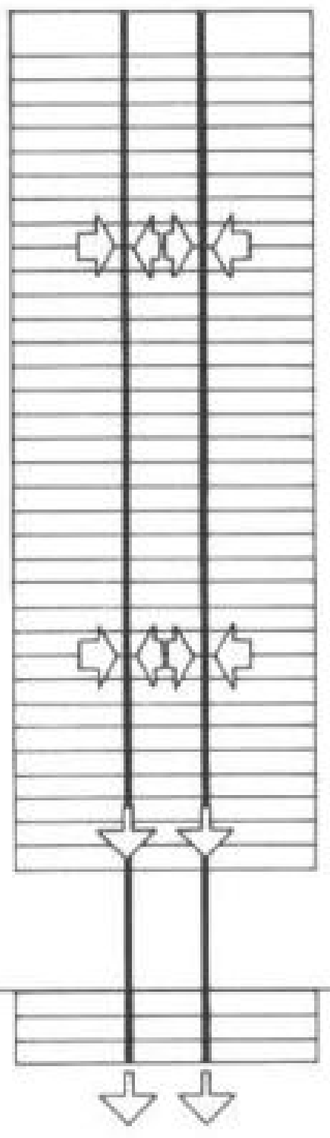
as cargas de cada pavimento são transmitidas para a face externa do edifício, e são enviadas à base perifericamente

## Sistemas mixtos de agrupación y transmisión de cargas

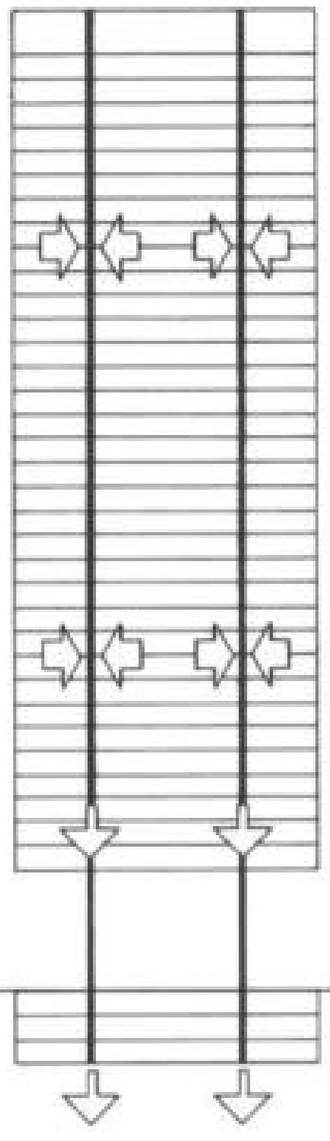
## Sistemas compostos de absorção de cargas e transmissão de cargas



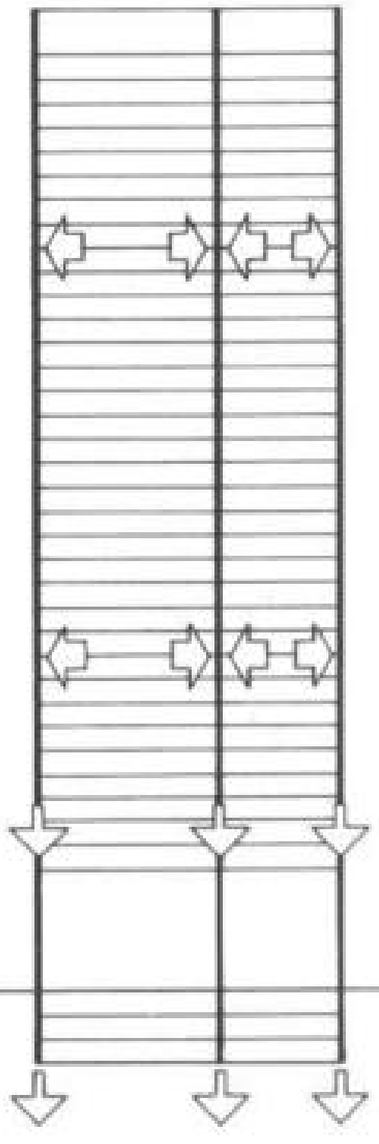
sistema envolvente con apoyo central
sistema envolvente com apoio central



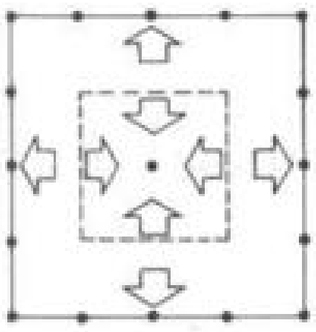
sistema con núcleo portante ampliado
sistema de núcleo portante ampliado



sistema de grandes luces con voladizos
sistema de vão livre e balanço

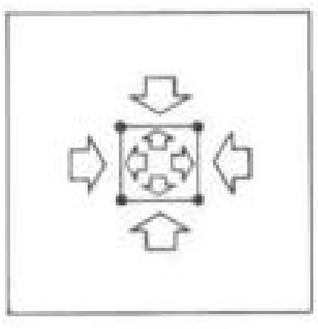


sistema portante asimétrico
sistema portante assimetrico



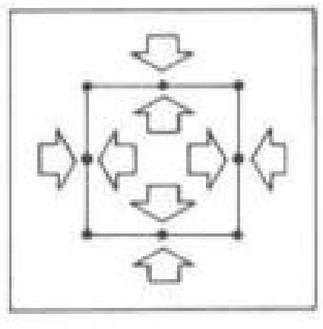
las cargas de cada planta se transmiten en parte al centro y en parte a las paredes exteriores

as cargas de cada pavimento são dirigidas parcialmente para o centro e para as paredes externas



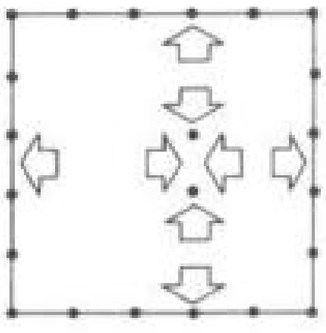
las cargas se transmiten hacia el interior a los puntos de una retícula central de agrupación

as cargas são transmitidas até o interior aos pontos de um sistema reticulado central de absorção de carga



las cargas se transmiten tanto desde el centro como desde los lados a los puntos intermedios de agrupación

as cargas são transmitidas aos pontos intermediários de absorção, tanto do centro quanto dos lados

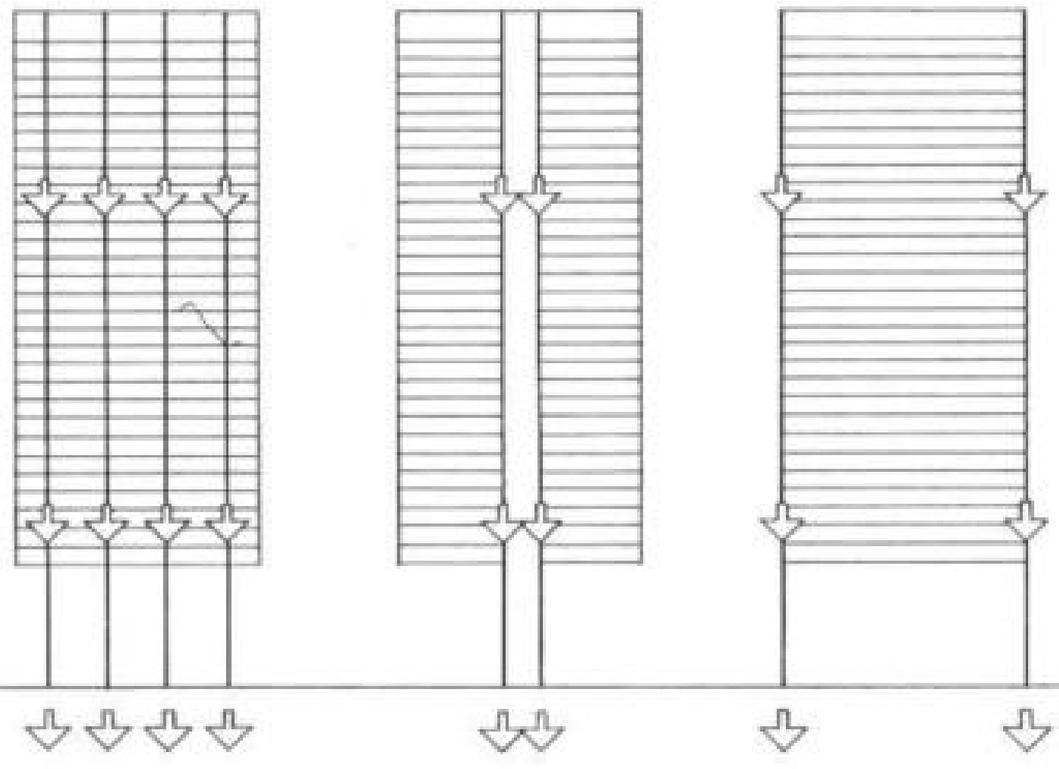


las cargas se transmiten de manera desigual a los puntos de agrupación

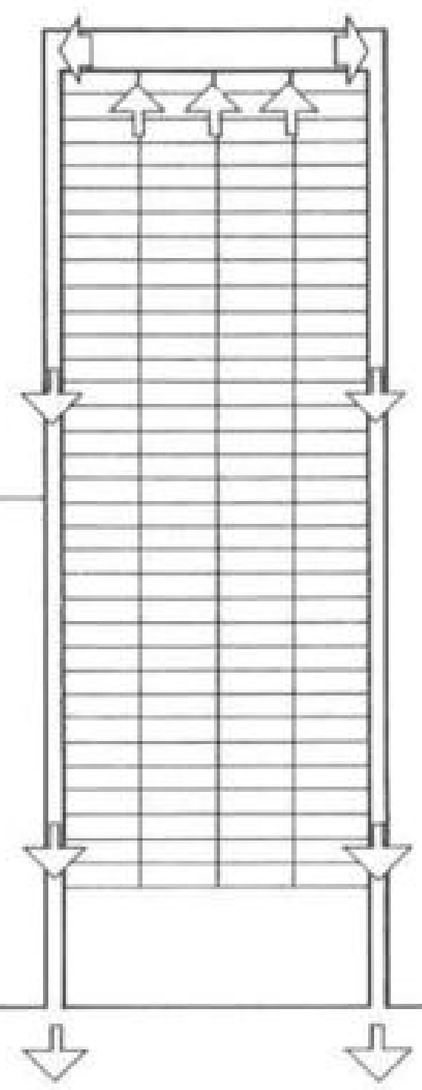
as cargas são transmitidas desigualmente aos pontos de absorção

Sistemas de transmisión de cargas verticales indirectas con agrupación reticular
= rascacielos puente

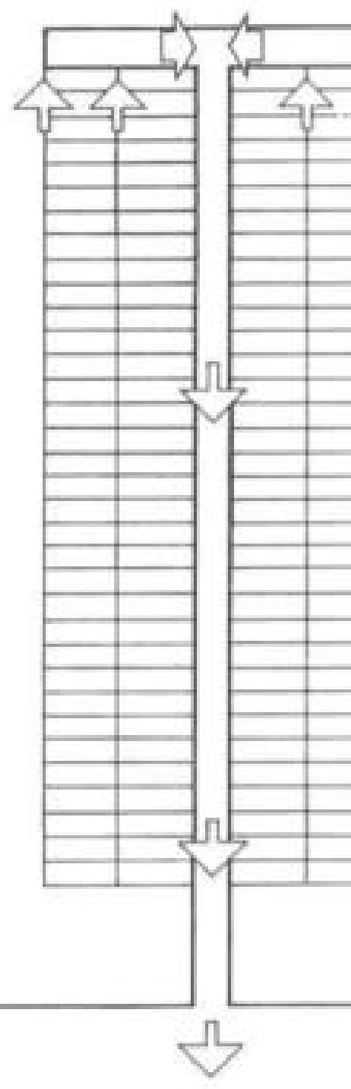
Sistemas de transmissão indireta da carga vertical m
agrupamento modula
= arranha-céus tipo pont




Transmisión directa de cargas
Transmissão direta de carga



Transmisión indirecta de cargas mediante cabl
Transmissão indireta da carga por meio de cabo

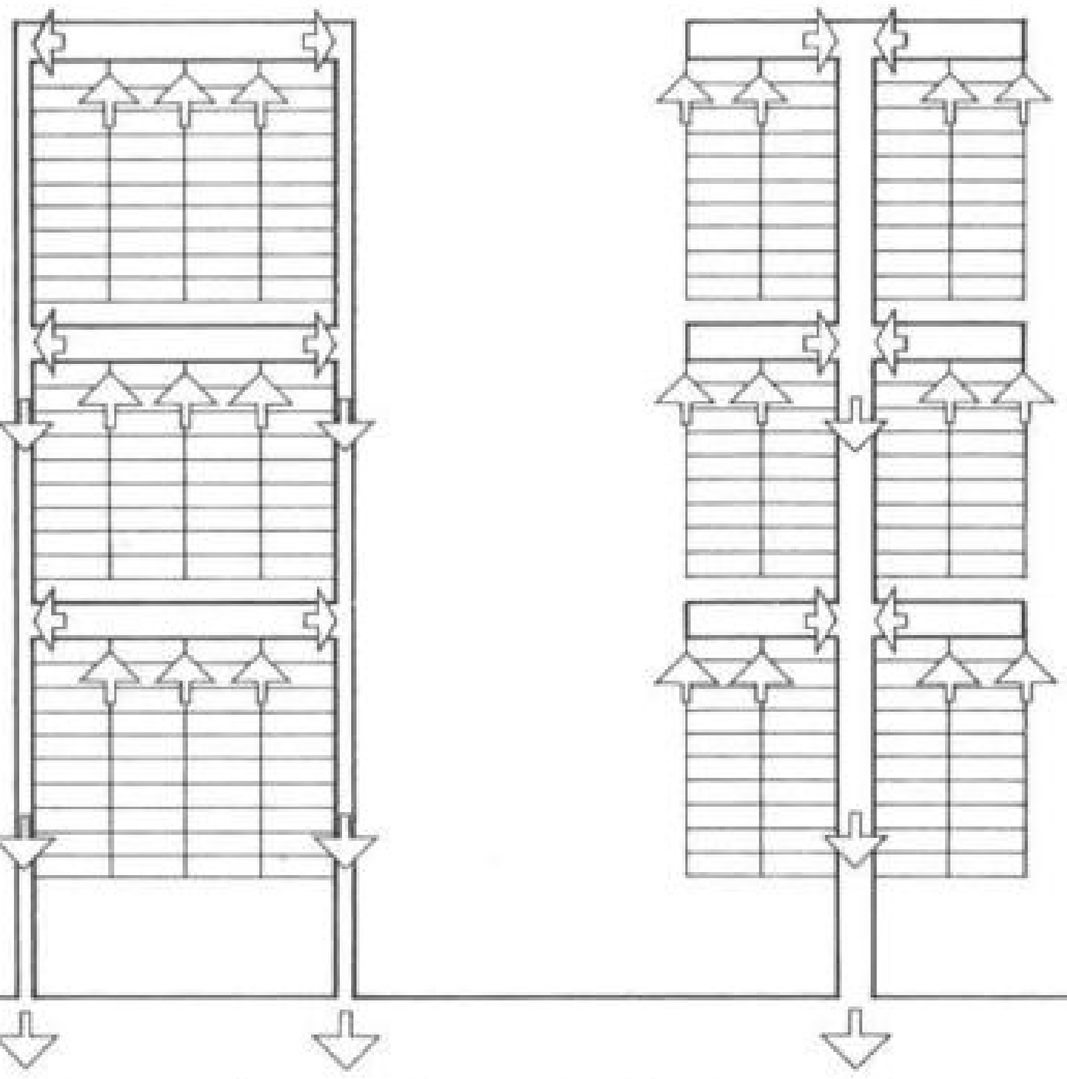


En vez de transmitir las cargas recogidas en cada planta directamente a los cimientos, también se pueden transmitir a través de cables, primero hacia arriba, desde donde se pueden trasmitir a pilones centrales o perimetrales mediante vigas transversales superpuestas.

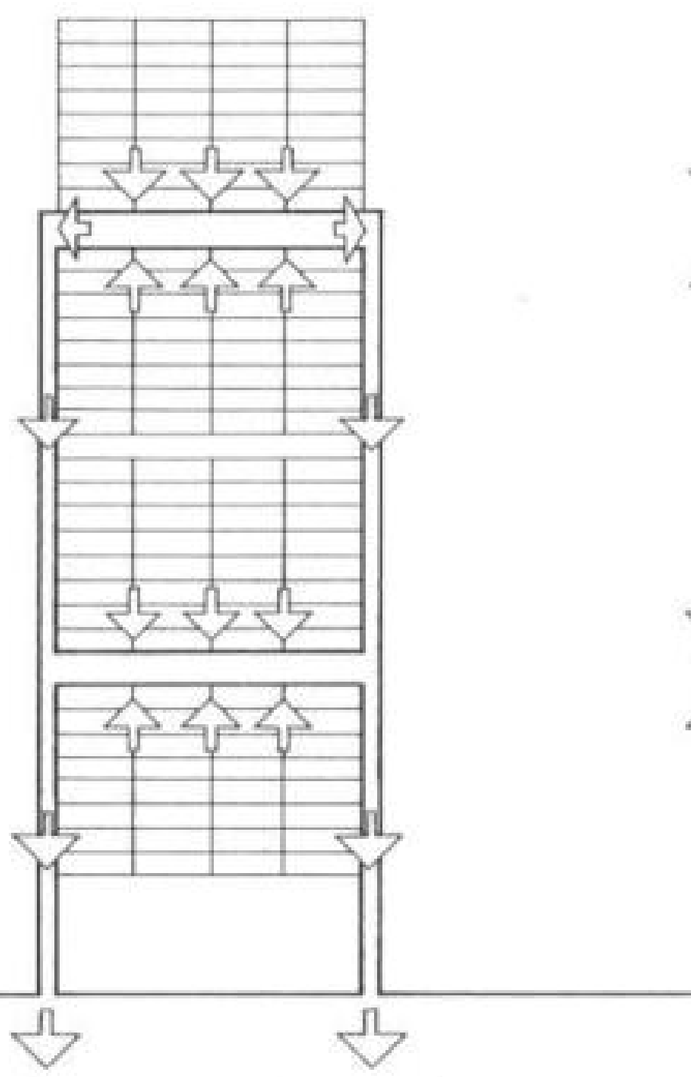
Ao invés de transmitir cargas agrupadas por cada piso diretamente às fundações por meio de colunas, as cargas podem ser levadas por cabos para a parte superior, onde vigas-mestras sobrepostas recebem-nas e transmitem-nas aos pilares centrais e/ou periféricos.

Sistemas continuos de suspensión

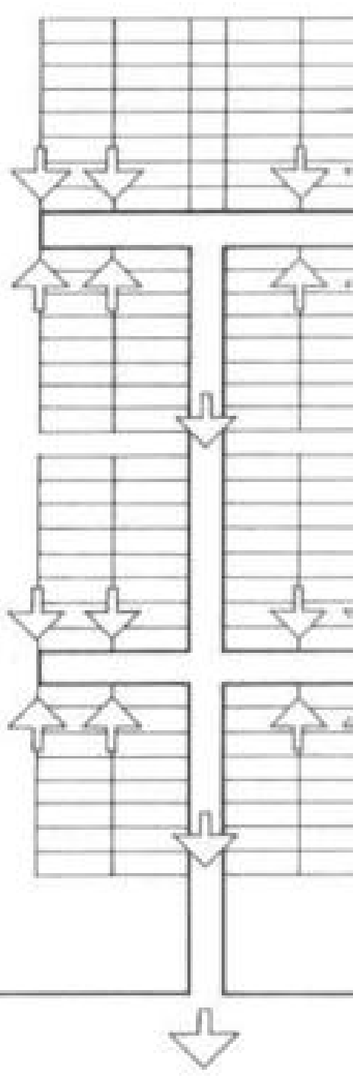
Sistemas de suspensão continu



Sistemas para la suspensión agrupada de las plantas de vigas intermedias
Sistemas de suspensão de pavimentos agrupados por vigas-mestras intermediárias

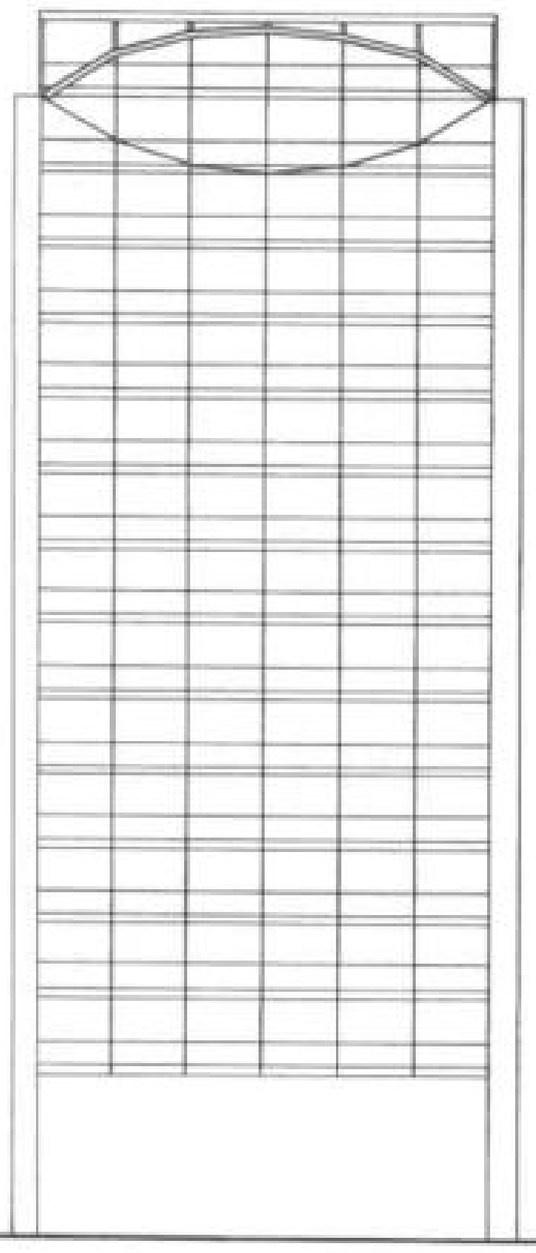


Sistemas para la suspensión combinada y soporte de los grupos de plantas
Sistemas para suspensão combinada e apoio de agrupamentos separados de pavimentos



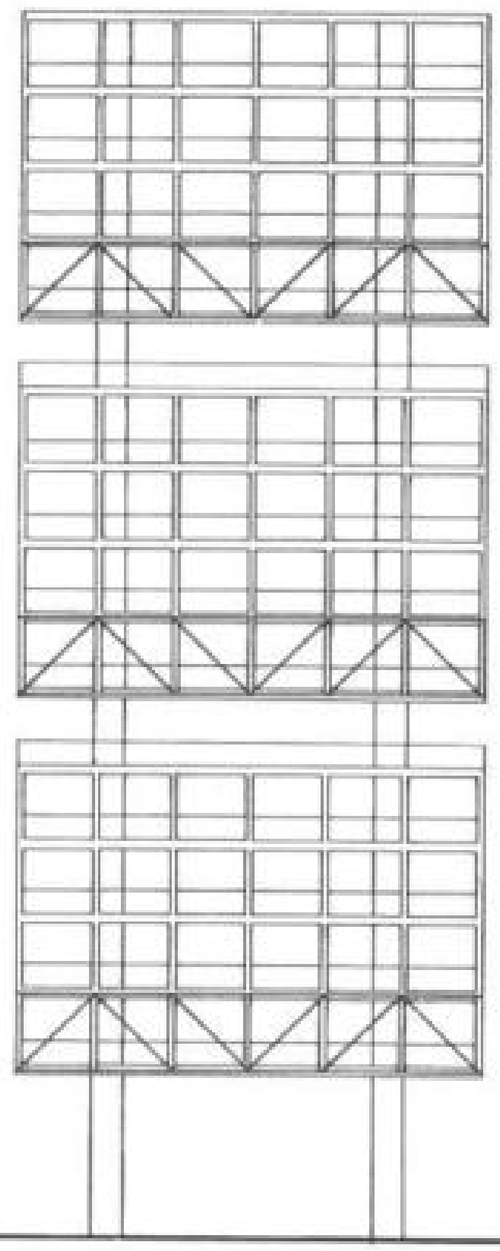
## Sistemas de vigas de planta entera en rascacielos puente

## Sistemas de viga de vários pavimentos em arranha-céus tipo ponte



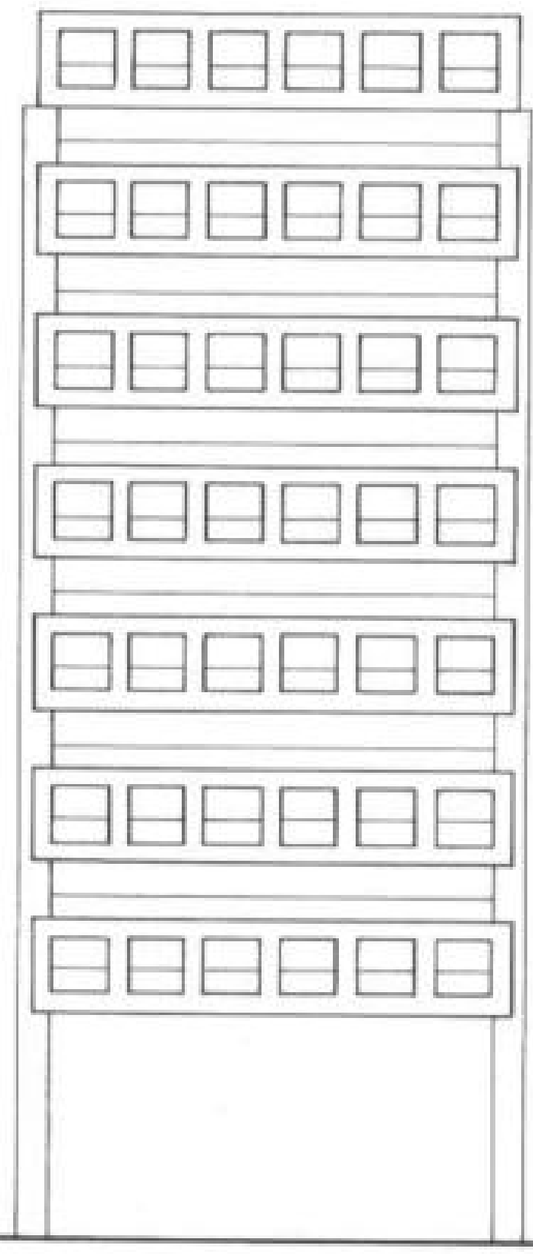
Vigas de planta de forma activa
*Viga de pavimento de forma-ativa*

Combinación de arco y cable suspendido con plantas suspendidas
*Combinação de cabo de suspensão/arco com pavimentos suspensos*



Vigas de planta de vector activo
*Viga de pavimento de vetor-ativo*

Vigas de celosía con grupos de plantas apoyadas encima
*Vigas entreliçadas suportando cada uma vários pavimentos*

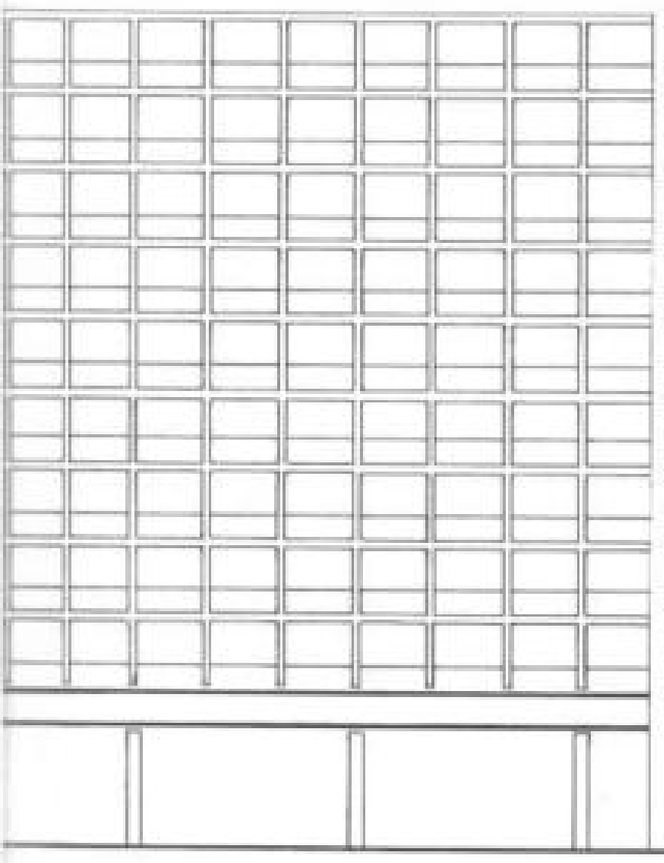


Vigas de planta de vector activo
*Viga de pavimento de seção-ativa*

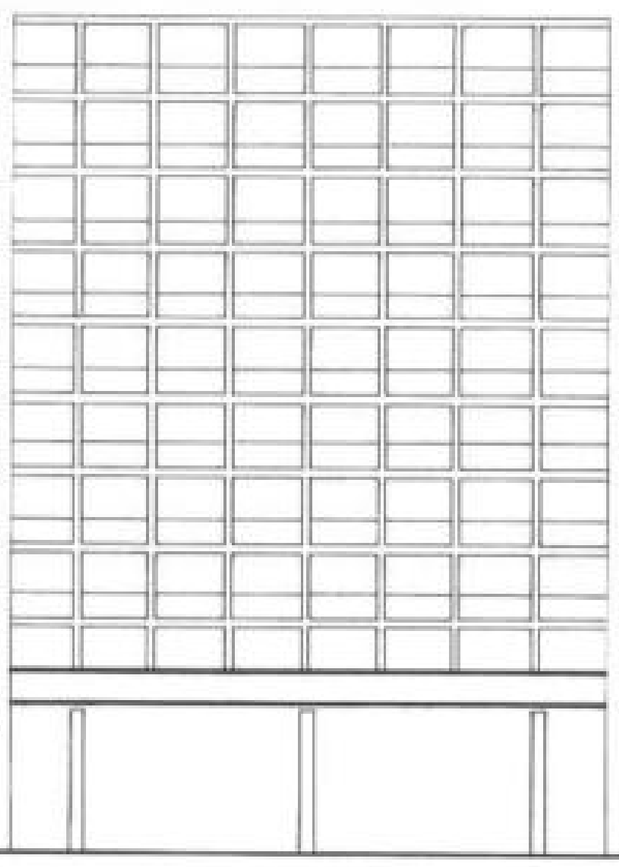
Pórticos de varios vanos con plantas intermedias sin pilares
*Pórticos de vários vãos com pisos intermediários sem suportes*

## Sistemas de absorción de cargas sobre la planta baja

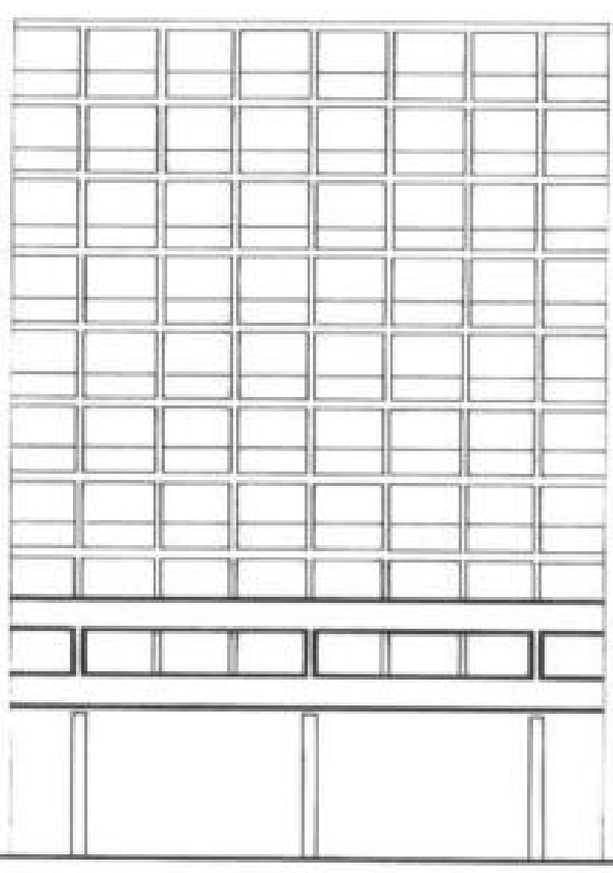
## Sistemas de recebimento das cargas de colunas dos pavimentos superiores



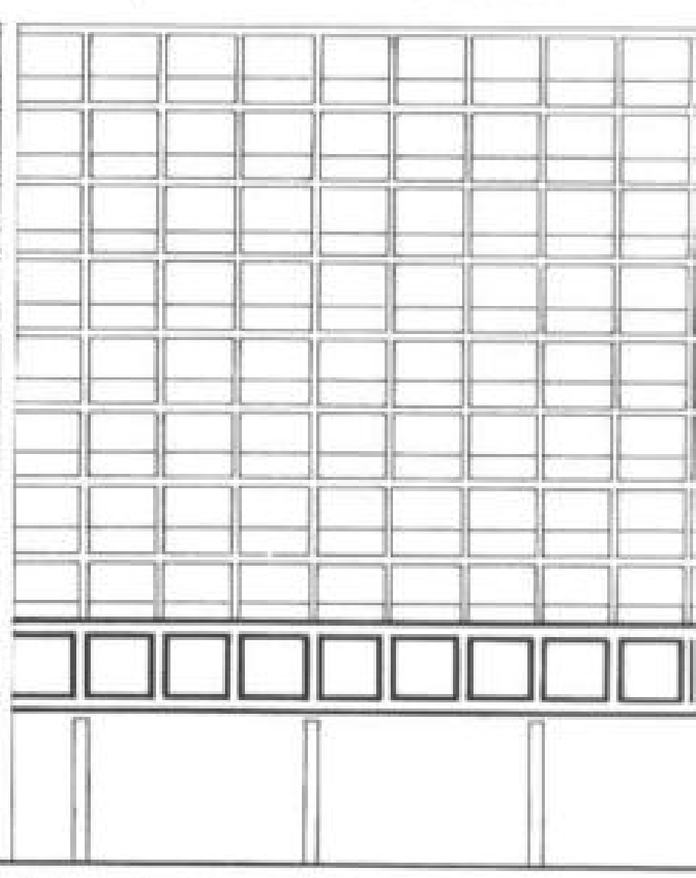
Jácena inferior debajo del forjado
*Viga de absorção abaixo da laje do pavimento*



Jácena de absorción en antepecho
*Viga de absorção acima da laje do pavimento*



Jácenas de absorción en el antepecho de dos plantas
*Viga de absorção em dois pavimentos*



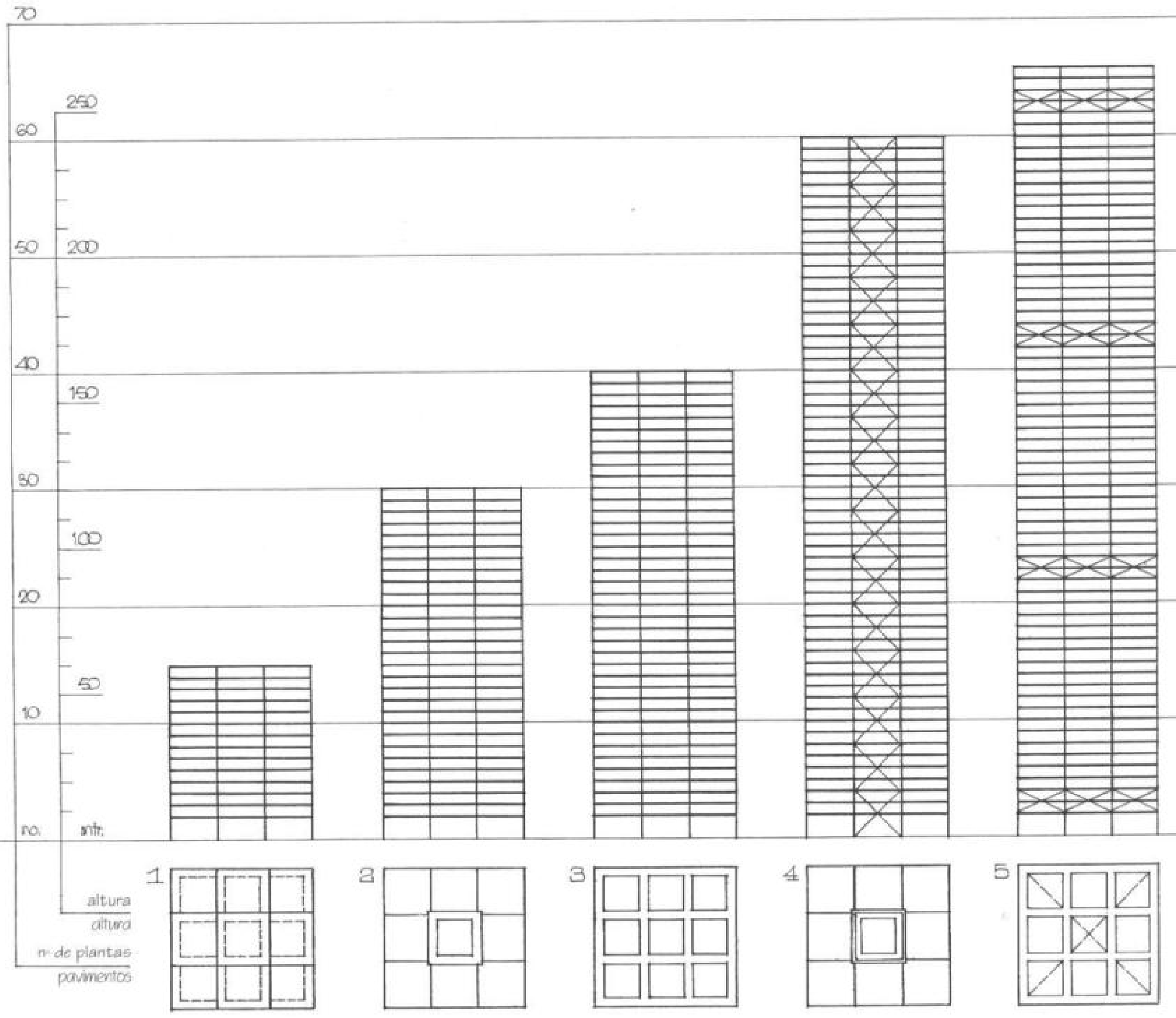
Jácena de absorción formada por un pórtico de varios vanos
*Pórtico de vários vãos como viga de absorção*

## Ideas básicas sobre los rascacielos de acero

1 Pórticos superpuestos / Retícula semirrígida
2 Núcleo porticado con retícula de vigas
3 Retícula continua de pórticos / Retícula completamente rígida
4 Núcleo laminar o de celosía con retícula de vigas
5 Retícula continua de pórticos con plantas de rigidización
6 Núcleo laminar o de celosía con retícula de vigas y con plantas de rigidización
7 Perímetro densificado de pórticos y retícula de vigas
8 Perímetro densificado de pórticos y retícula de pórticos
9 Perímetro de celosías y retícula de vigas
10 Perímetro de celosías con núcleo laminar o de celosía y con retícula de pórticos

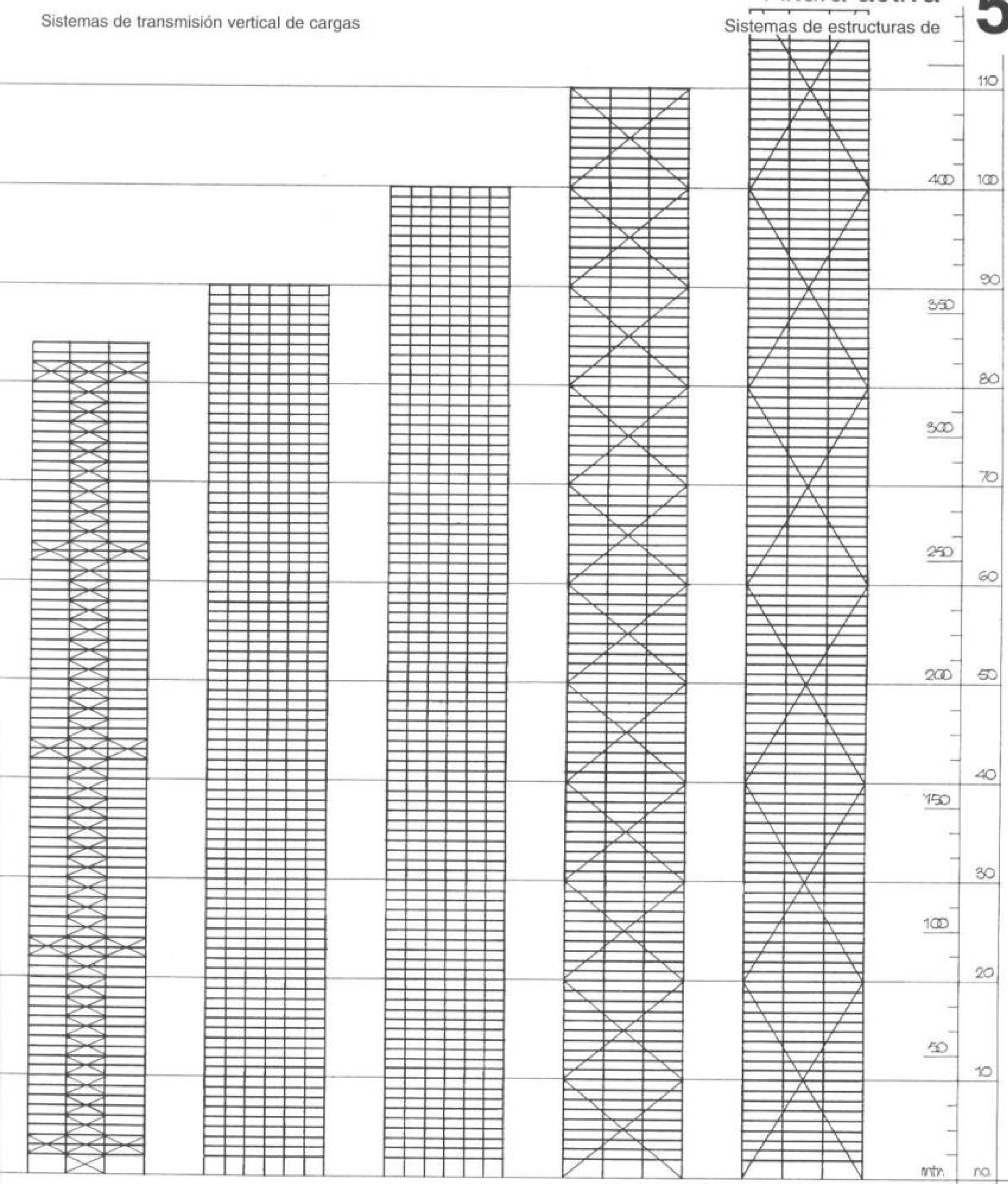
## Conceitos padrão de construção de arranha-céus em aço

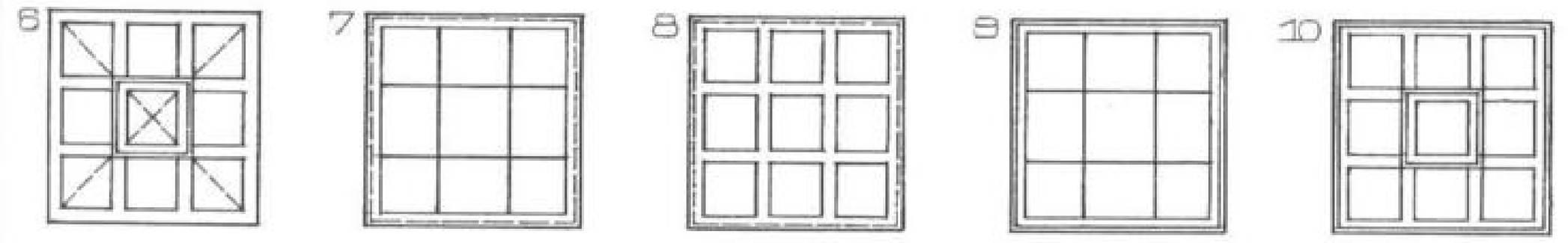
1 Pórticos sobrepostos / Pórticos semi-rígidos modulares
2 Núcleo de pórticos com pós-vigas modulares
3 Módulos de pórtico contínuo / Módulos de pórticos totalmente rígidos
4 Núcleo entreliçado ou núcleo de parede cisalhada com módulo de pós-viga
5 Módulos de pórtico contínuo com pavimentos reforçados
6 Núcleo entreliçado ou núcleo de parede cisalhada com módulos de pórtico e com pavimentos reforçados
7 Caixas de armação densificada com módulos de pós-viga
8 Caixas de armação densificada com módulos de pórtico
9 Caixas entreliçadas com módulos de pós-viga
10 Caixas entreliçadas com núcleo entreliçado ou núcleo de parede cisalhada com módulos de pós-viga



# Altura activa

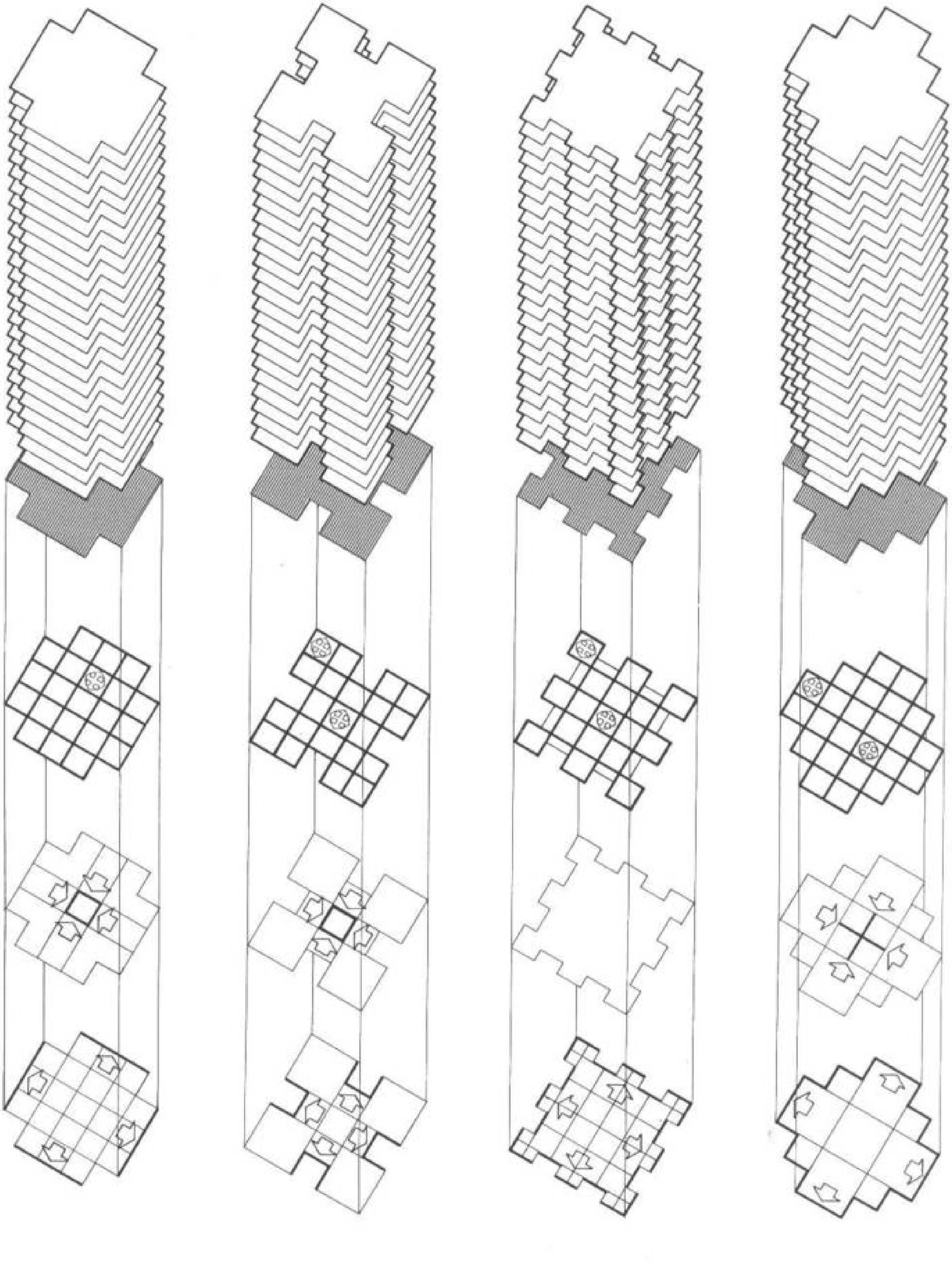
Sistemas de estructuras de



Formas típicas de torre a partir de una planta cuadrada

Formas tipicas de torre desenvolvidas a partir de uma planta quadrada



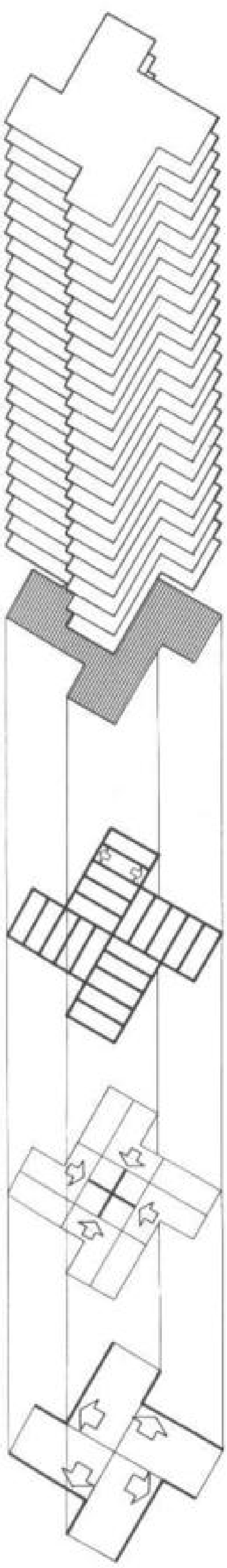
Absorción de cargas
Agrupamento de carga

como sistema reticular
como sistema modular

como sistema nuclear
como sistema em balanço

como sistema perimetral
como sistema de vão livre

Formas típicas de torre a partir de una planta circular
Formas de torre desenvolvidas a partir de uma planta circular

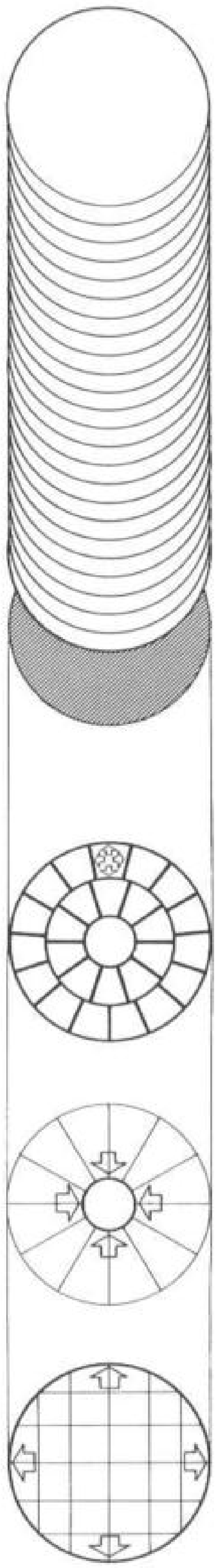


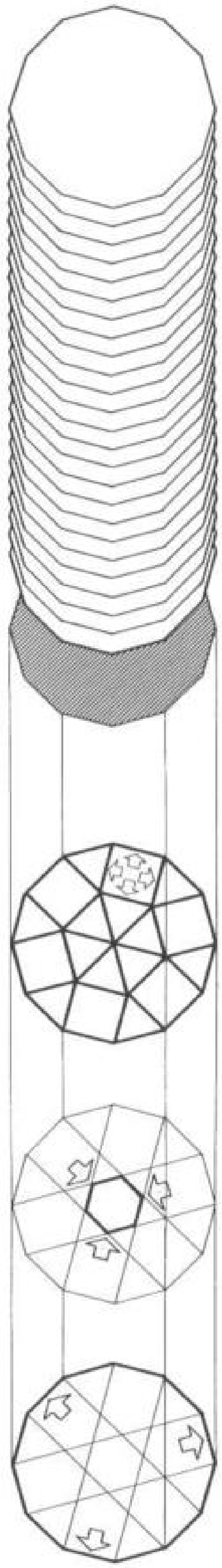
Absorción de cargas
Agrupamento de carga

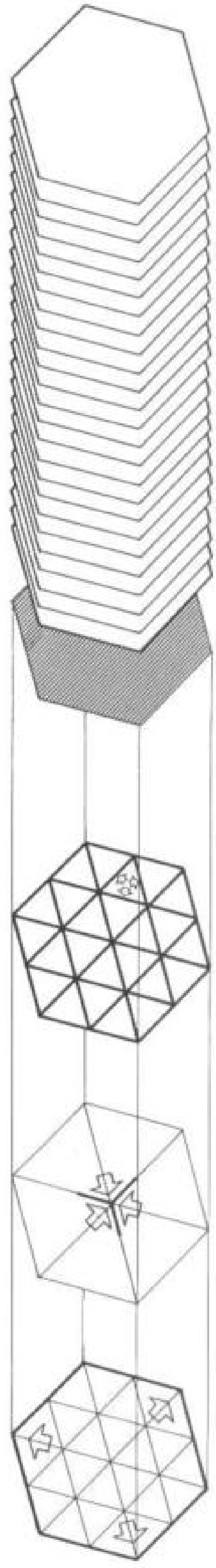
como sistema reticular
como sistema modular

como sistema nuclear
como sistema em balanço

como sistema perimetral
como sistema de vão livre

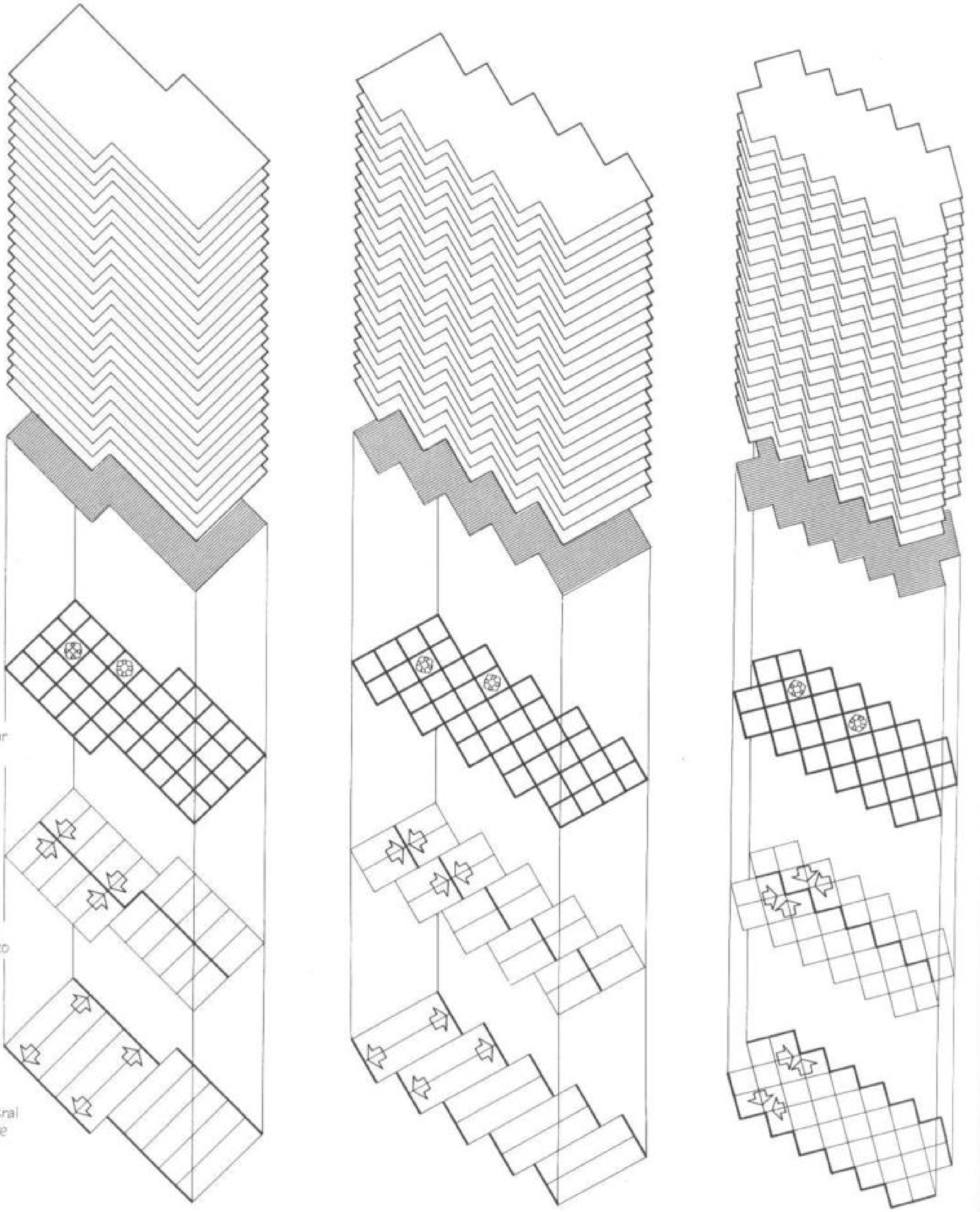






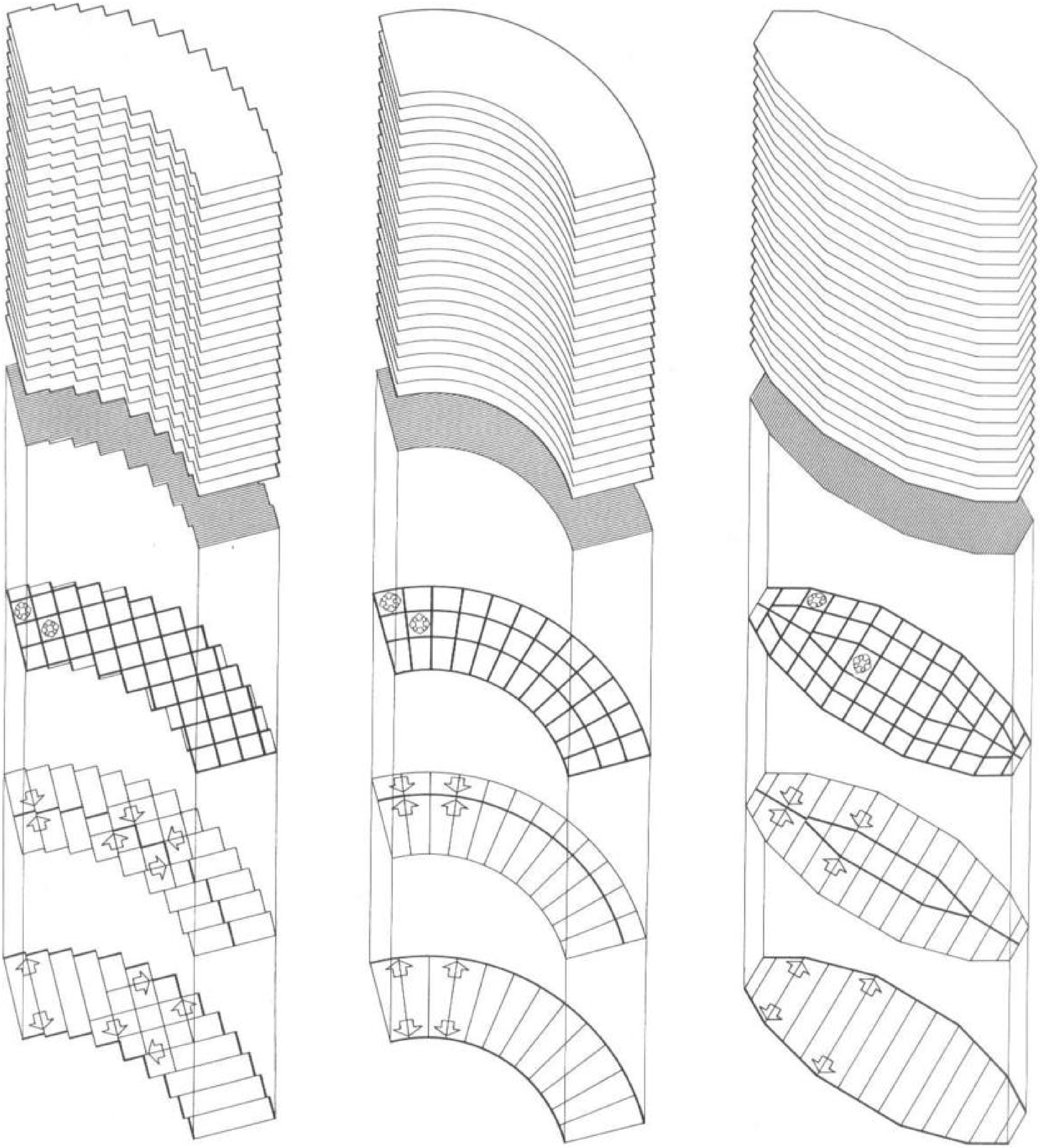
Formas típicas de torre a partir de una planta rectangular

Formas tipicas de laie desenvolvidas a partir de uma planta retangular

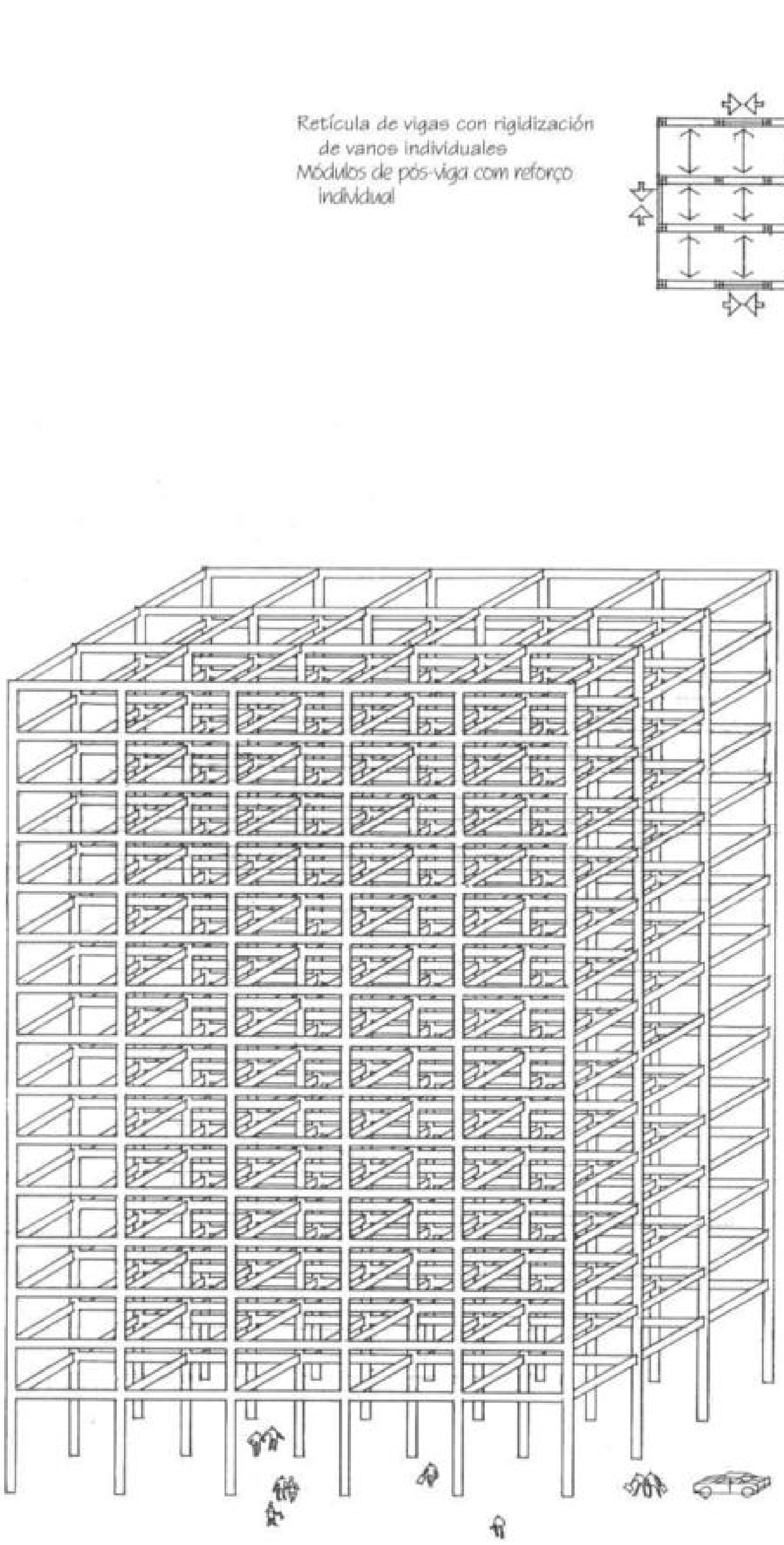


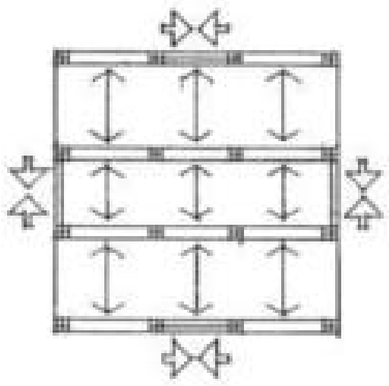
Formas laminares desarrolladas a partir de una planta curva

Formas de laje desenvolvidas a partir de uma planta de pavimentos curvos

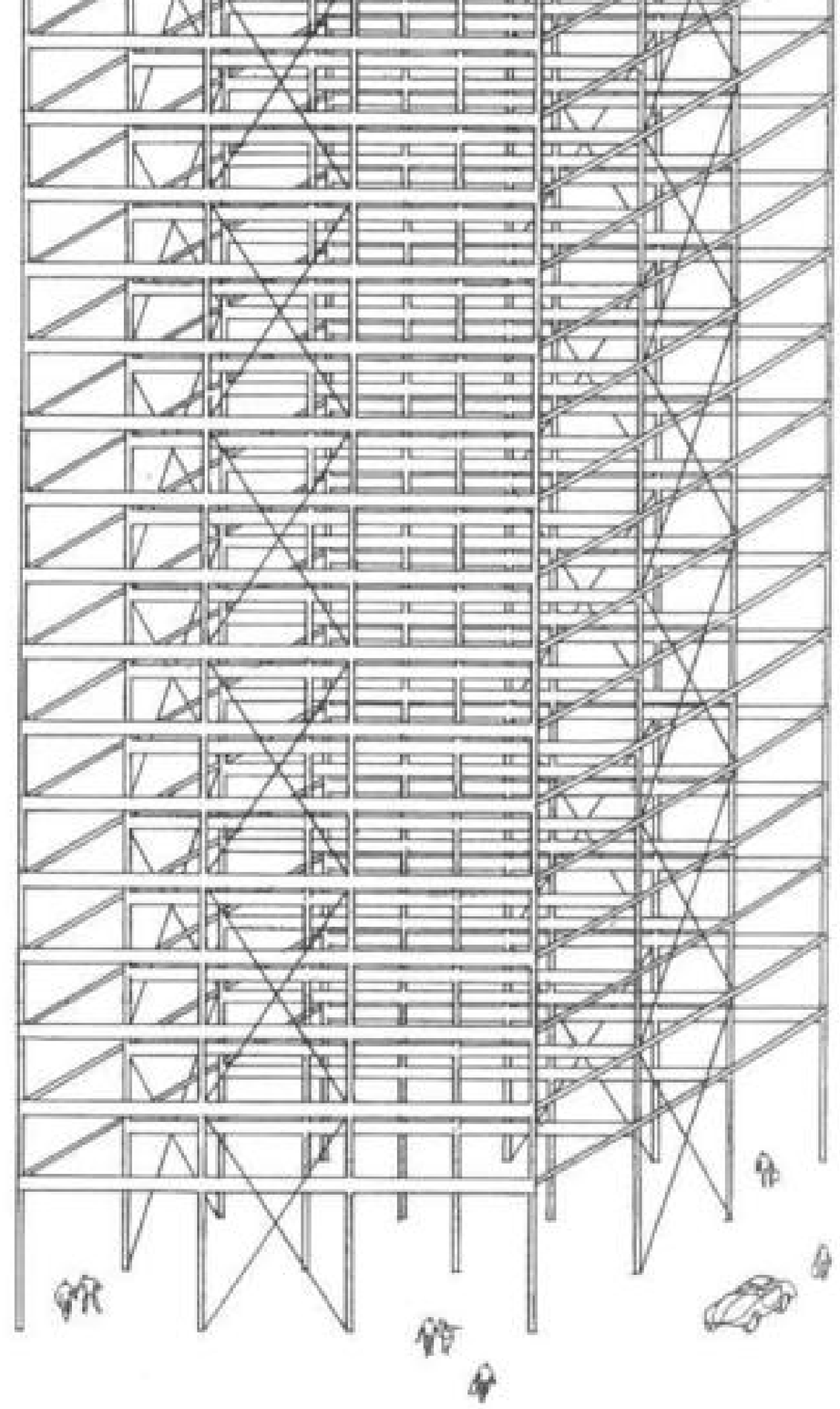


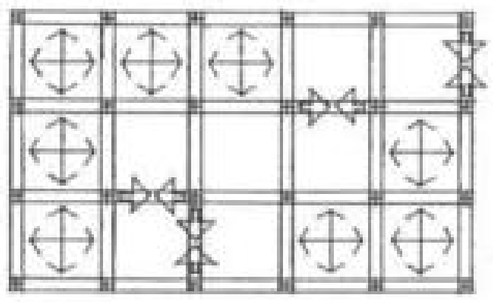
Rascacielos reticulares / *Arranha-céus tipo modular*





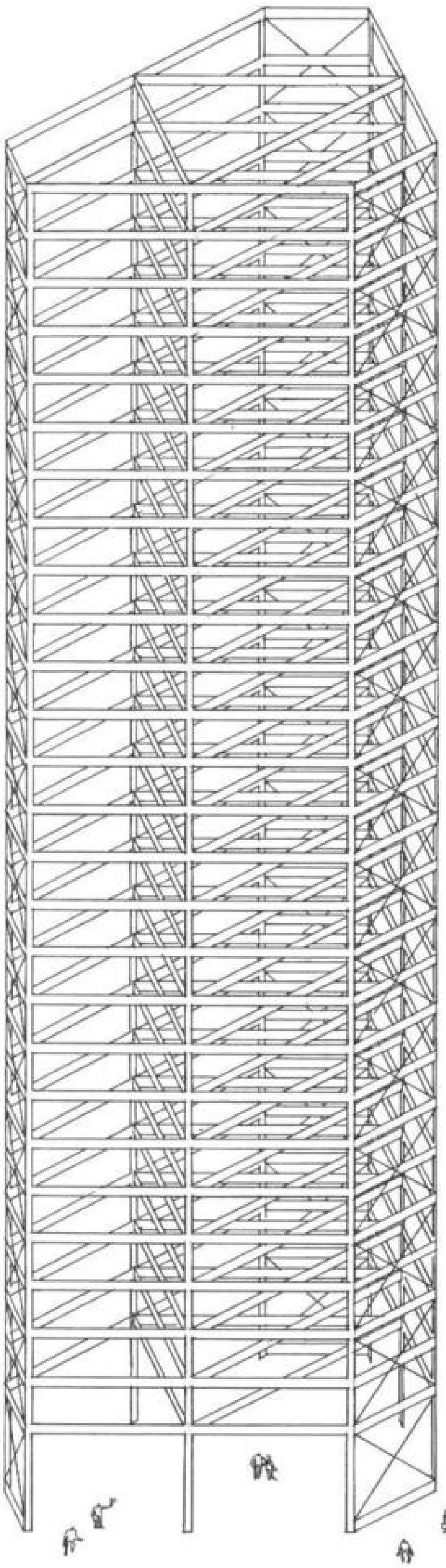
Retícula de vigas con rigidización de vanos individuales
*Módulos de pós-viga com reforço individual*

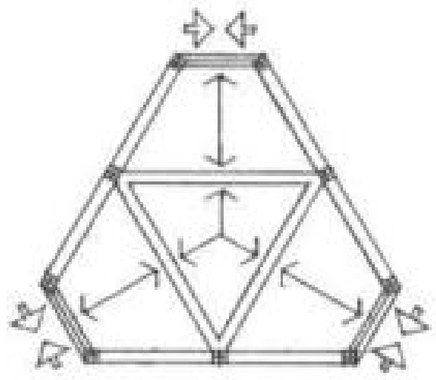




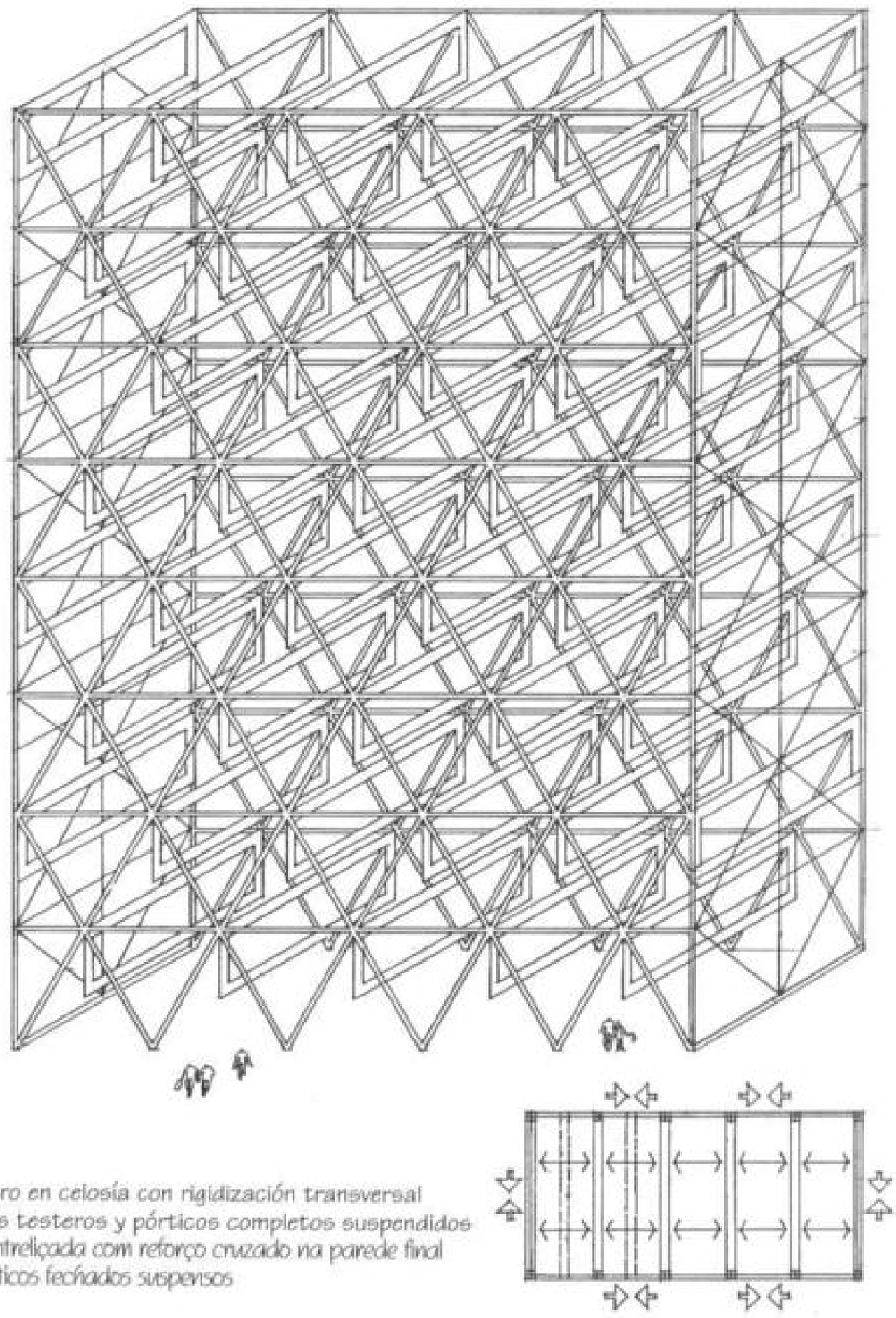
Retícula de pórticos con pórticos rígidos continuos
*Módulos de armação com pórticos rígidos continuos*

## Rascacielos perimetrales / *Arranha-céus de vão livre*



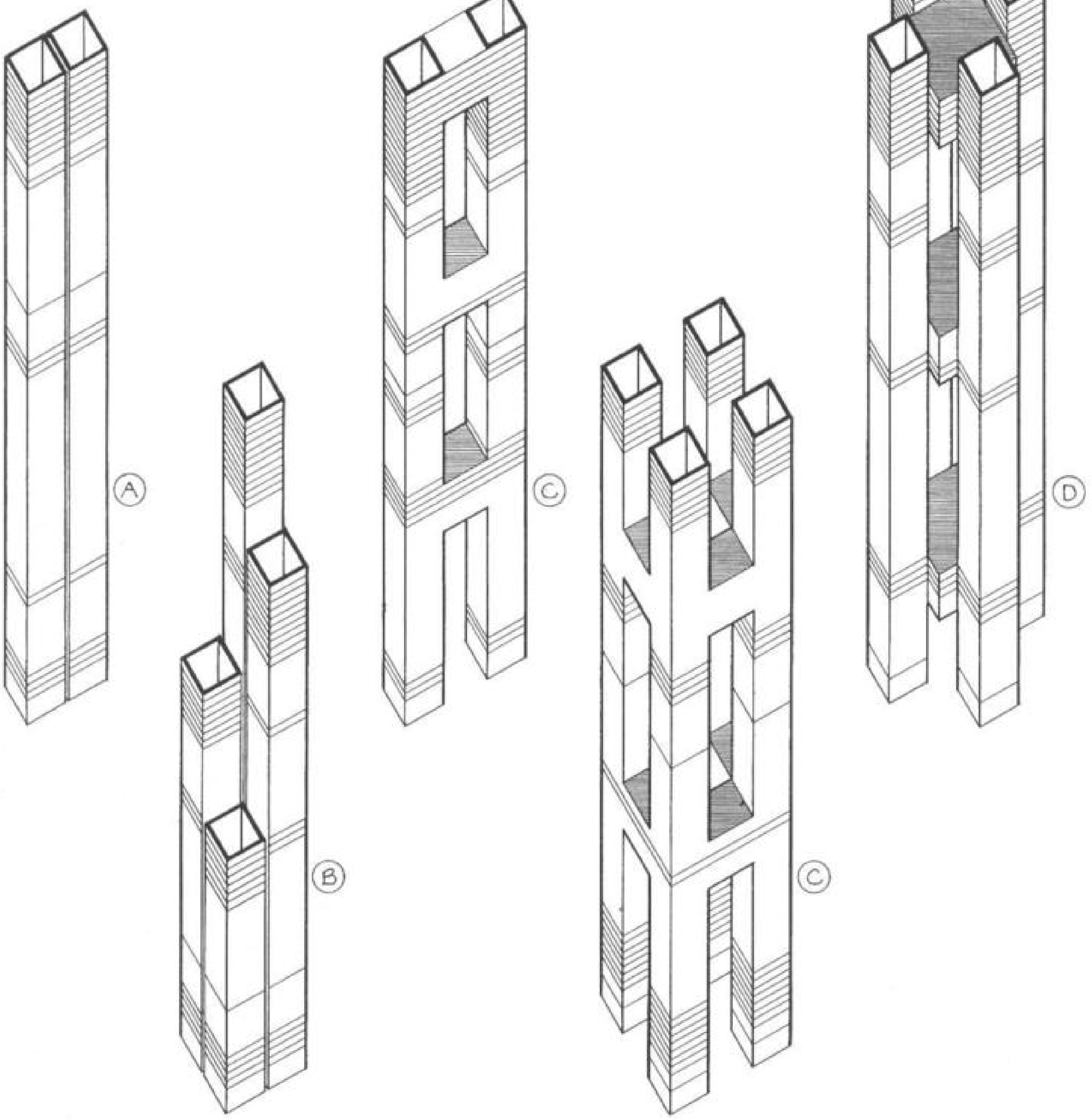


Vigas perimetrales con rigidización individual de vanos y vigas de planta en diagonal
*Caixa de pós-viga com reforço individual e vigas de pavimento diagonais*





Perímetro en celosía con rigidización transversal de los testeros y pórticos completos suspendidos
*Caixa entrelaçada com reforço cruzado na parede final e pórticos fechados suspensos*




## Desarrollos a partir de tubos rectangulares
## Desenvolvimentos baseados em tubos quadrangulares

El sistema estructural de TUBOS como forma estructural óptima para la rigidización vertical de rascacielos, también se puede aplicar como módulo para sistemas de rigidización de mayor escala, con mecanismos portantes que superan ampliamente el potencial de los tubos individuales. Las tres combinaciones normalizadas son:

1 Acoplamiento directo de pared a pared: (A) (B) yuxtaposición de tubos
2 Relación indirecta mediante elementos puente: (C) (D) pórticos de tubos
3 Acoplamiento telescópico: (E) varias capas formadas por tubos

O sistema de estrutura TUBULAR como forma estrutural ótima para reforços verticais de edifícios altos também qualifica-se como módulo para o desenvolvimento de sistemas de estabilização de maior escala com mecanismos estruturais que ultrapassam largamente o potencial de um tubo simples. As três combinações padrão são:

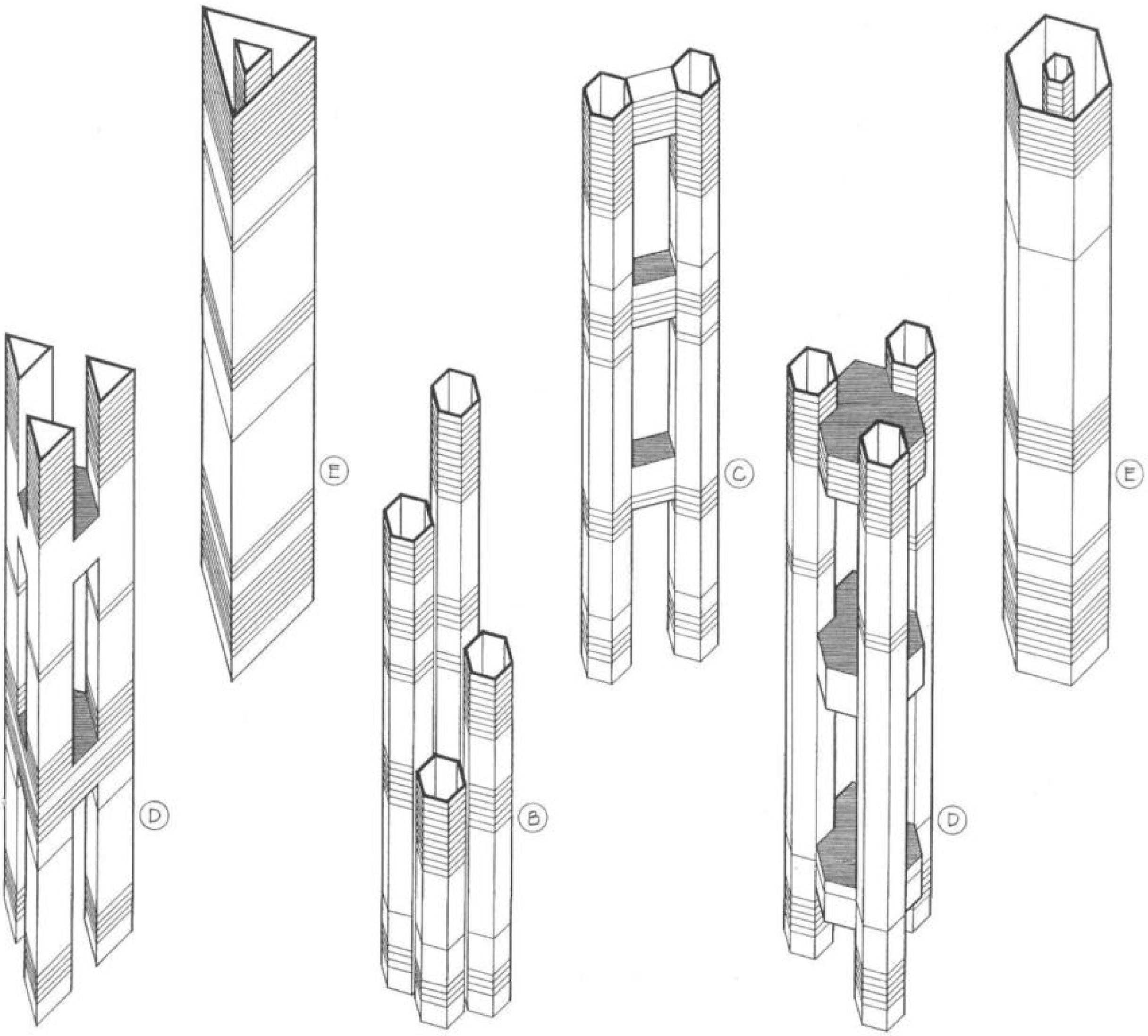
1 União direta de parede com parede: (A) (B) aglomerado de tubos
2 União indireta por elementos ponte: (C) (D) pórtico de tubos rígido
3 Encaixe telescópico: (E) capeamento múltiplo de tubos concêntricos

## Combinaciones de módulos tubulares para una rigidización vertical

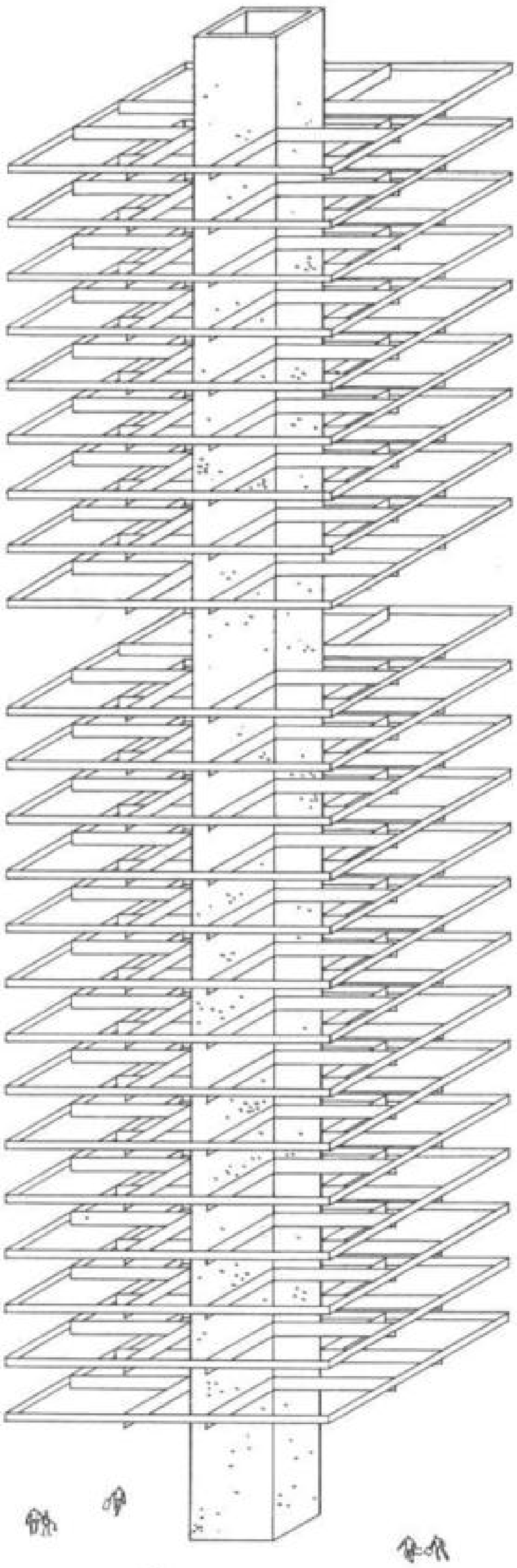
## Combinações de módulos de tubos para estabilização vertical

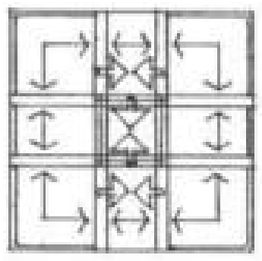
Ⓐ Dos tubos — Tubo duplo
Ⓑ Yuxtaposición de tubos — Aglomerado de tubos
Ⓒ Pórtico de tubos — Pórtico rígido de tubos
Ⓓ Pórtico de tubos triple — Pórtico de tubos
Ⓔ Tubos dobles — Capeamento duplo de tubos

### Desarrollo a partir de tubos triangulares y hexagonales
### Desenvolvimentos baseados em tubos triangulares e hexagonais

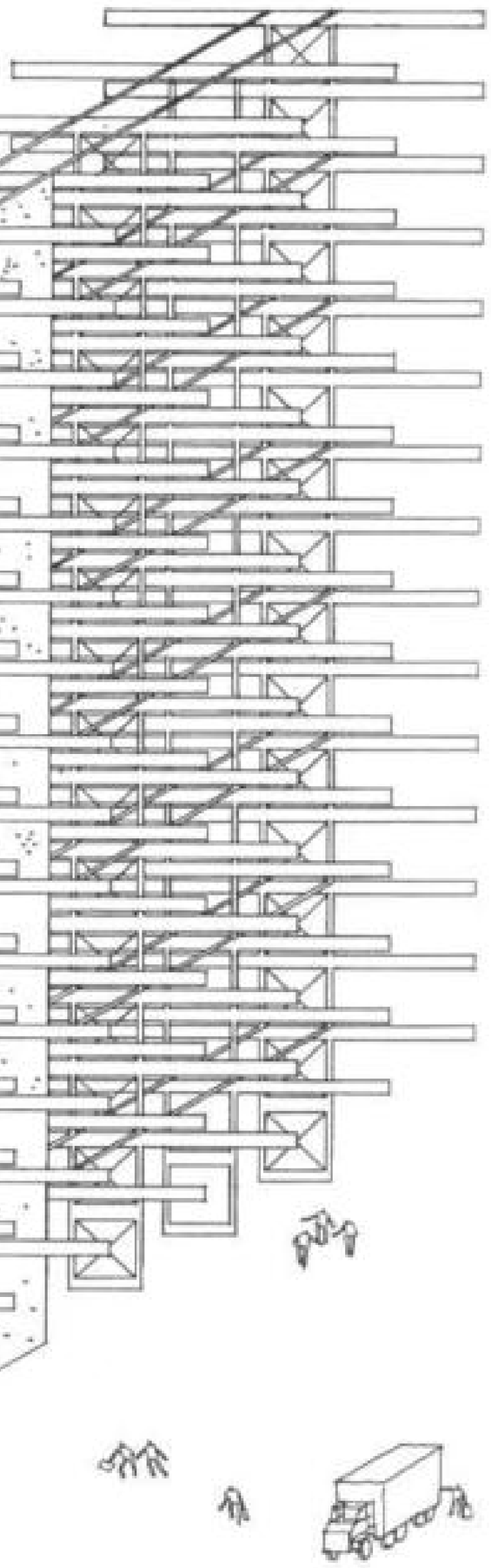


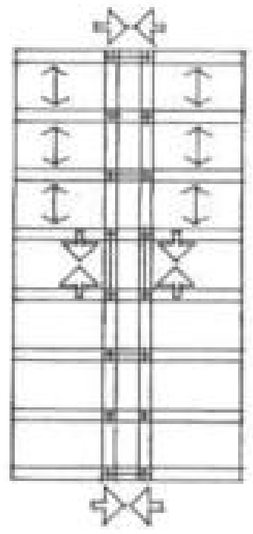
Rascacielos con núcleo / *Arranha-céus em balanço*





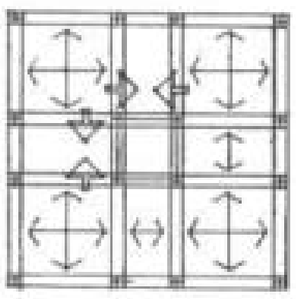
Núcleo estabilizado con vigas de forjado en voladizo y vigas perimetrales
*Núcleo pontual estabilizado com vigas de pavimento em balanço e vigas de borda*



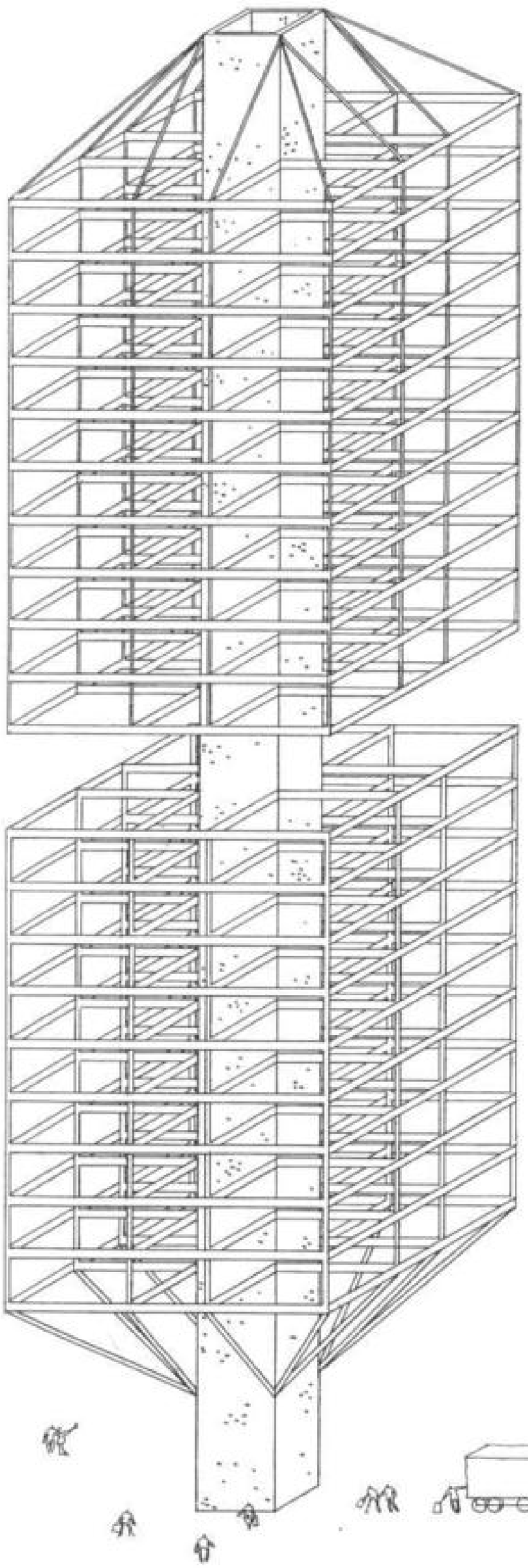


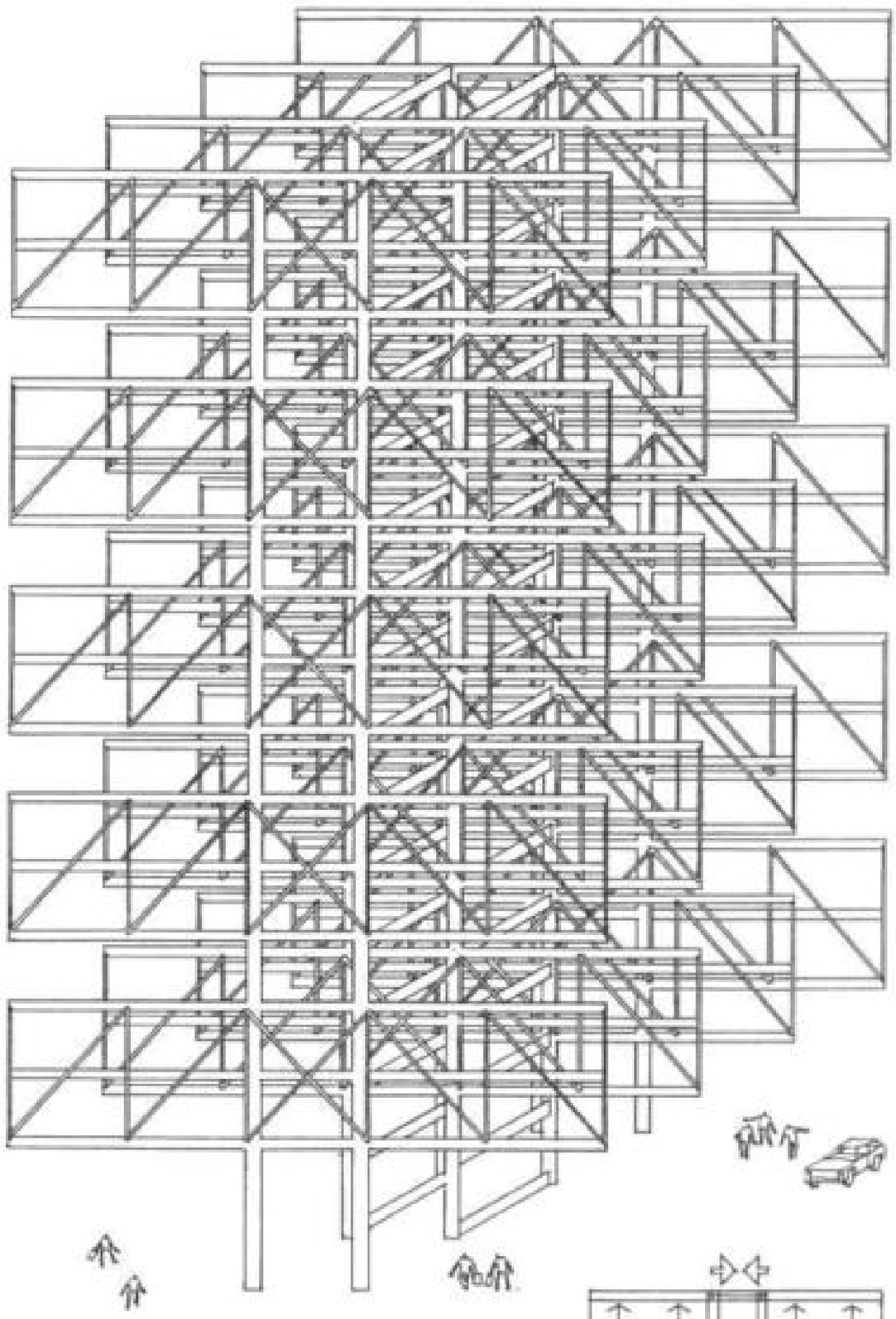
Núcleo estabilizado de vigas axiales con vigas de forjado en voladizo
*Núcleo axial estabilizado com pós-vigas e vigas de pavimento em balanço*

## Rascacielos con núcleo / *Arranha-céus em balanço*

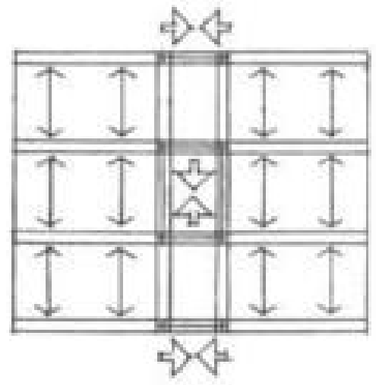


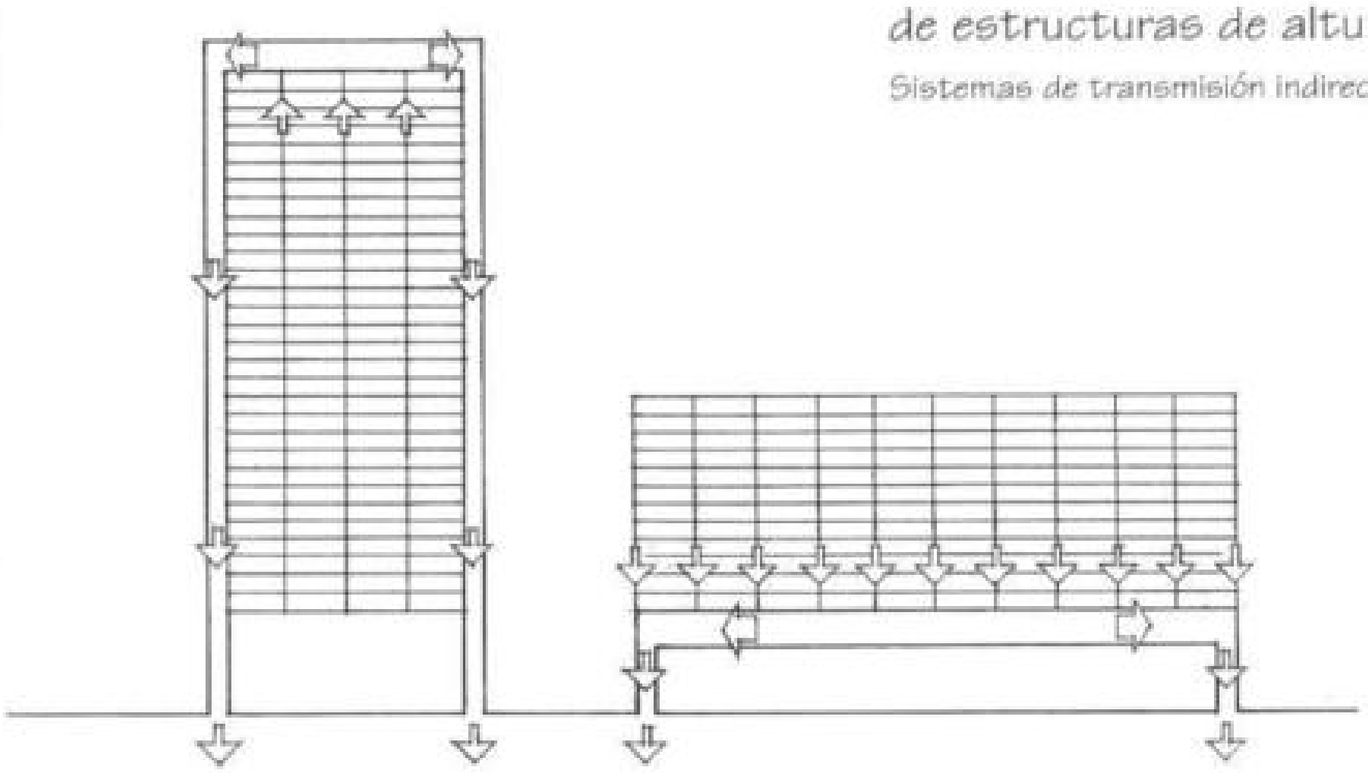
Núcleo estabilizado, solicitado indirectamente, con forjados suspendidos y apoyados
*Núcleo pontual estabilizado, indiretamente carregado, com pavimentos suspensos e apoiados*





Núcleo axial estabilizado con celosías en voladizo de varias plantas
*Núcleo axial estabilizado com múltiplos pavimentos entrelaçados em balanço*





## Sistemas puente de los sistemas de estructuras de altura activa

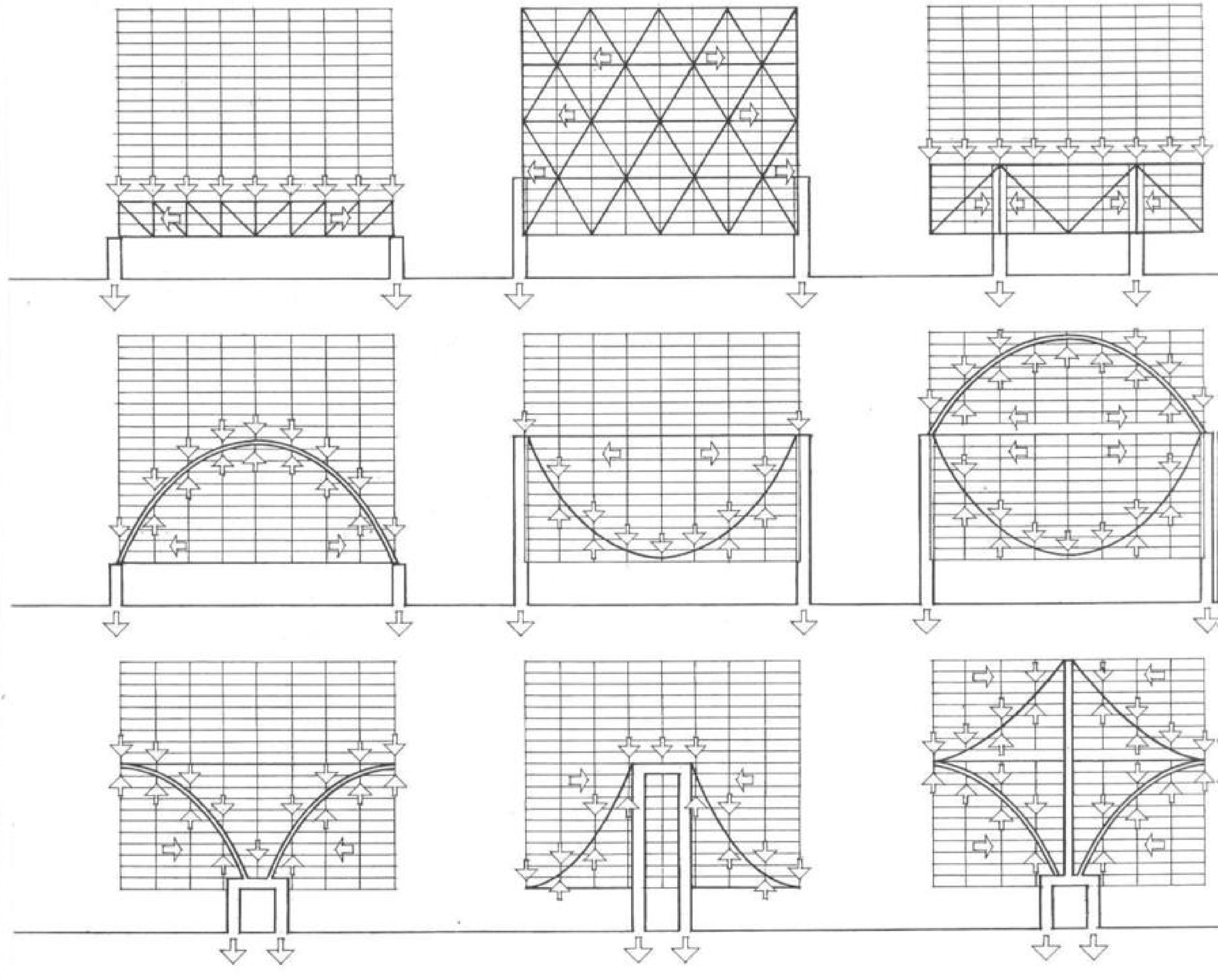
Sistemas de transmisión indirecta de cargas en vertical

En los sistemas de transmisión indirecta de cargas en vertical, por lo general, se necesita un sistema estructural adicional de mayor escala. Este sistema recoge las cargas totales a partir de una estructura básica independiente de altura activa, que las reconduce (para mantener libre la planta baja), de manera parecida a un puente, mediante grandes luces a pocos pilares: RASCACIELOS PUENTE.

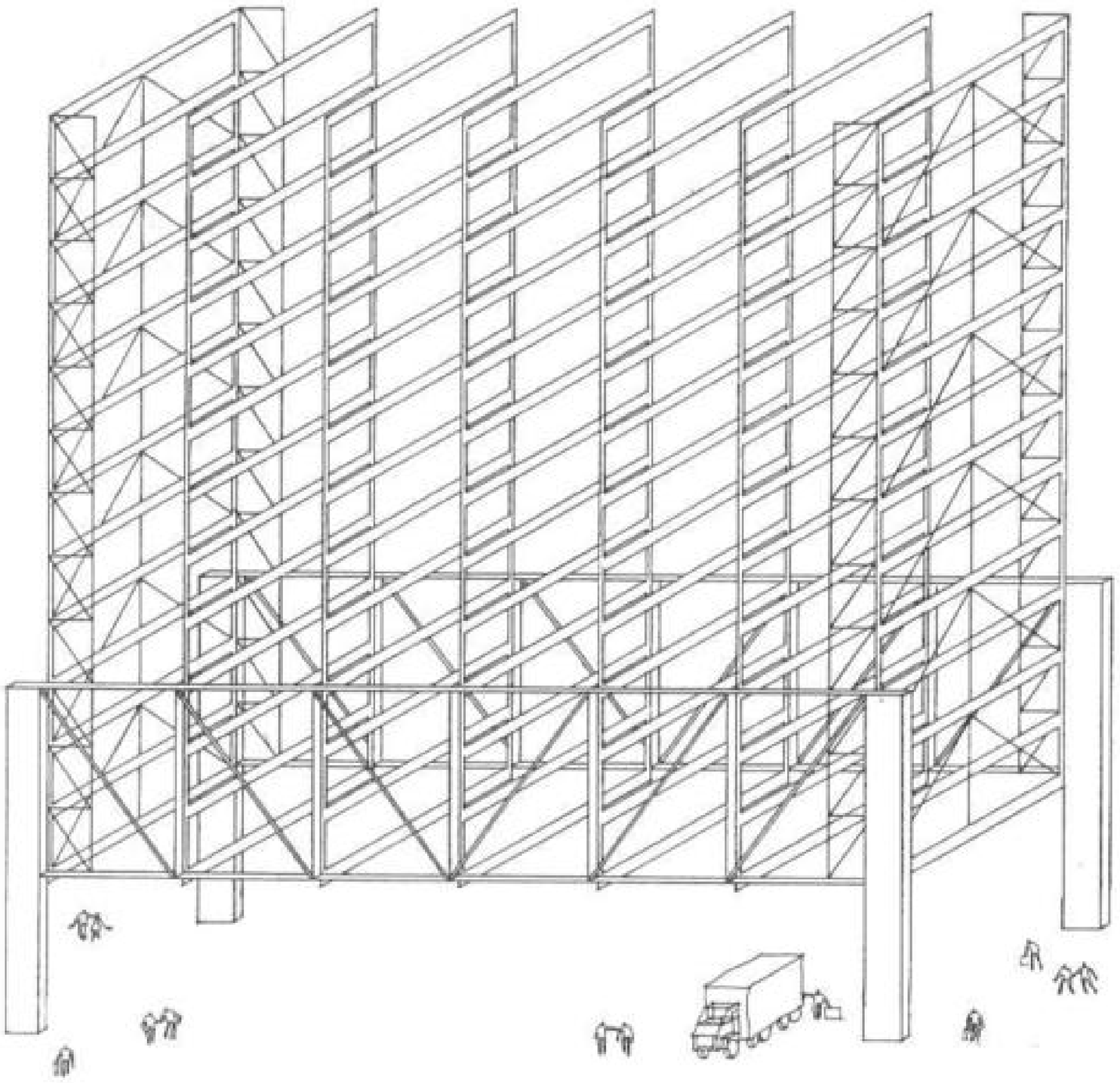
## Sistemas de ponte em estruturas de altura-ativa

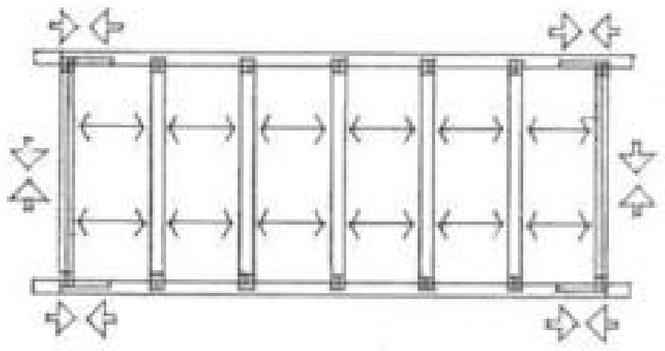
Sistemas verticais de transmissão indireta de carga

Nos sistemas verticais de transmissão indireta de carga é exigido como regra um sistema estrutural separado sobreposto. Este sistema recebe a totalidade das cargas de uma ampla estrutura independente de altura-ativa e (para conservar o terreno livre de uma malha de apoio) transmite-as a uma grande distância sobre alguns poucos pilotis, de forma similar à mecânica das pontes: ARRANHA-CÉUS TIPO PONTE.



## Rascacielos puente
## Arranha-céus tipo ponte





Puente de tres plantas con soporte conjunto: sistema perimetral con rigidización individual

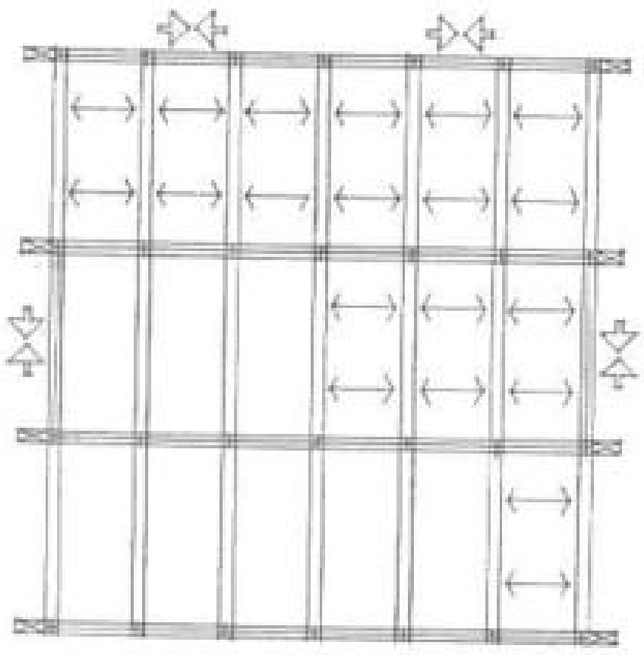
*3 pavimentos tipo ponte com todos os pavimentos sobrepostos: Sistema de vão livre com reforço modular simples*





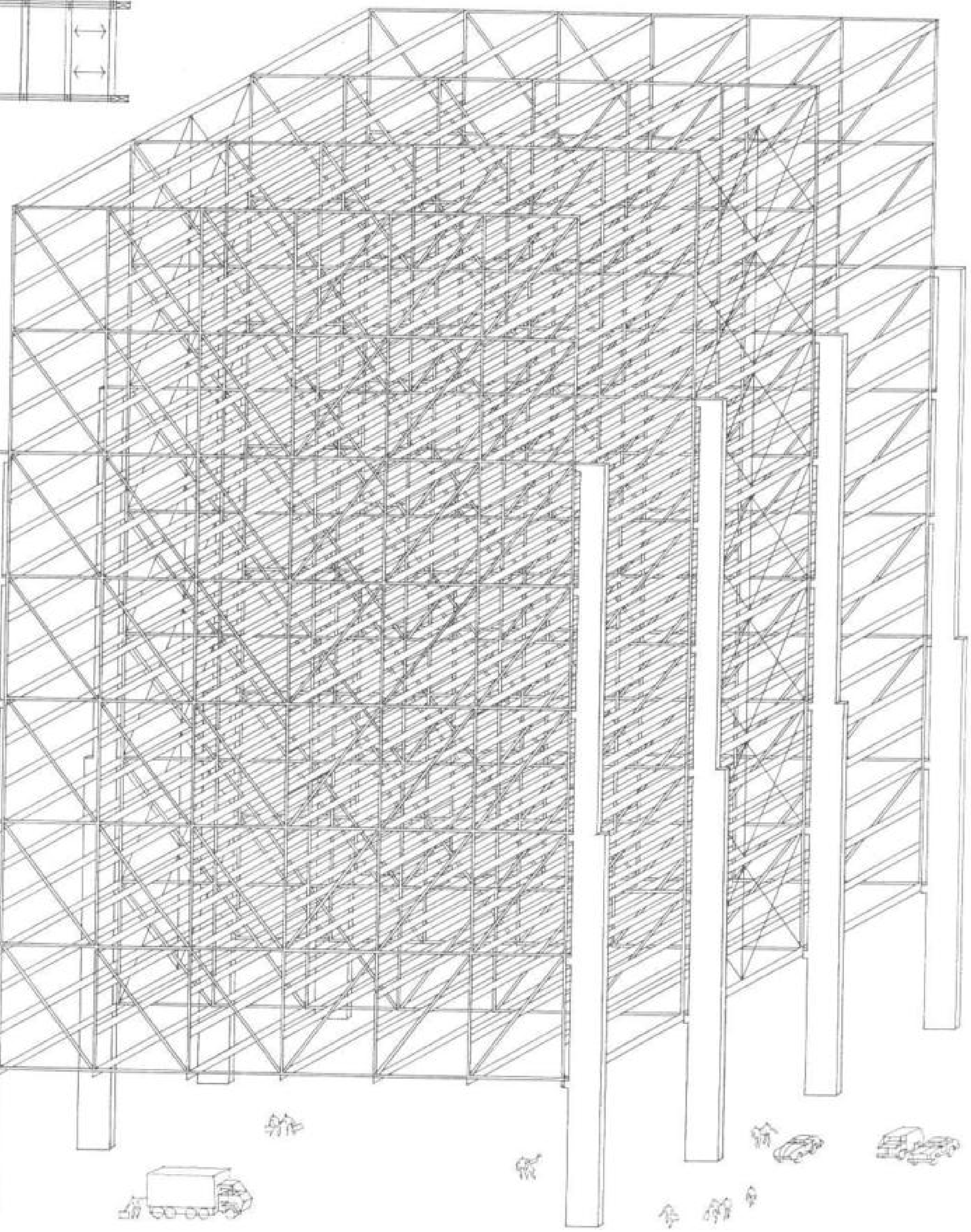
Puente en todas las plantas mediante la construcción de celosías, como rascacielos perimetral con pórticos suspendidos

*Todos os pavimentos tipo ponte de construção entreliçada como em arranha-céus de vão livre com pórticos fechados suspensos*



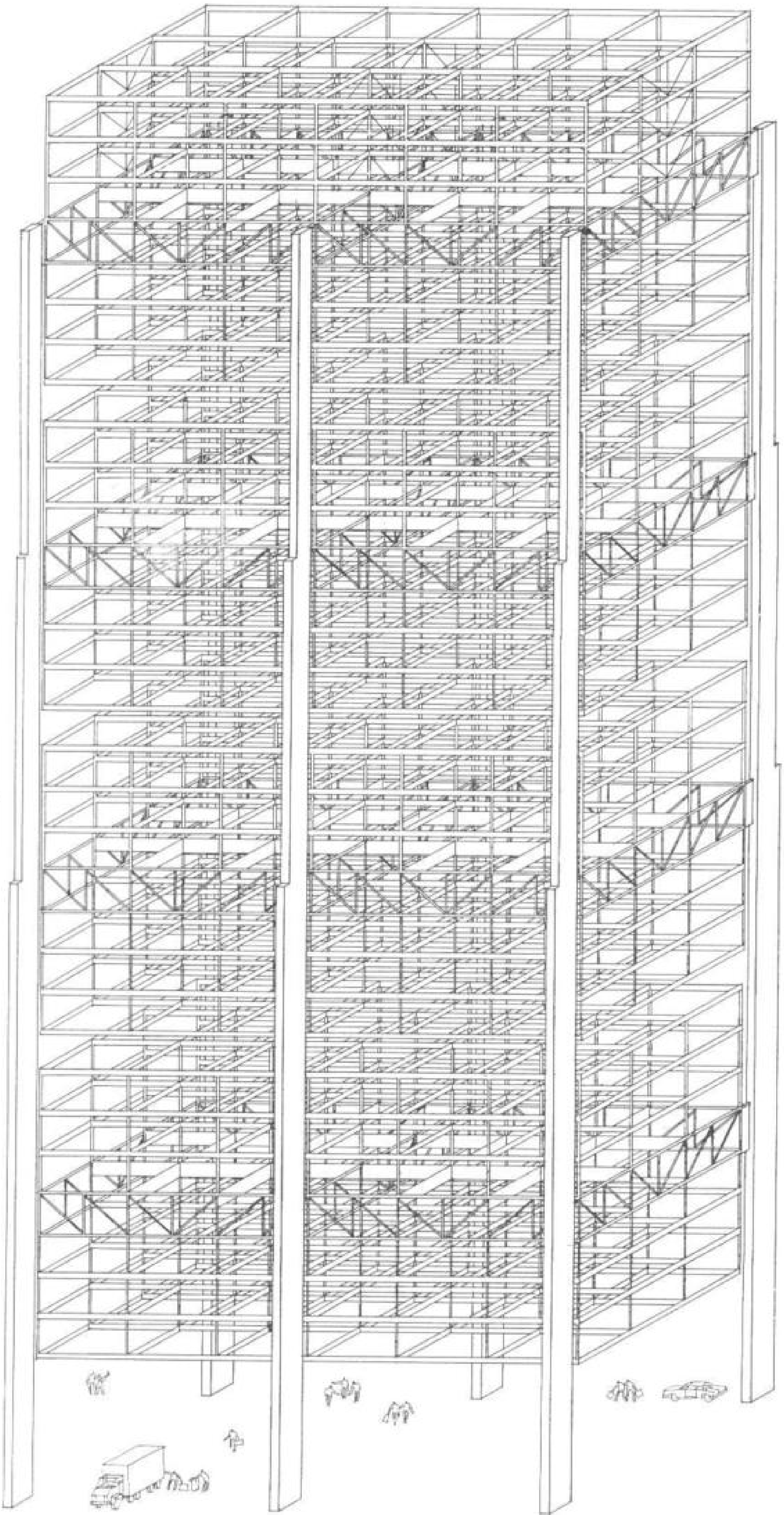
Puente en todas las plantas mediante la construcción de celosías: rascacielos reticular con rigidización transversal de los pórticos
Todos os pavimentos tipo ponte de construção entrelaçada como em arranha-céus modulares com reforço modular simples

## Rascacielos puente
## Arranha-céus tipo ponte

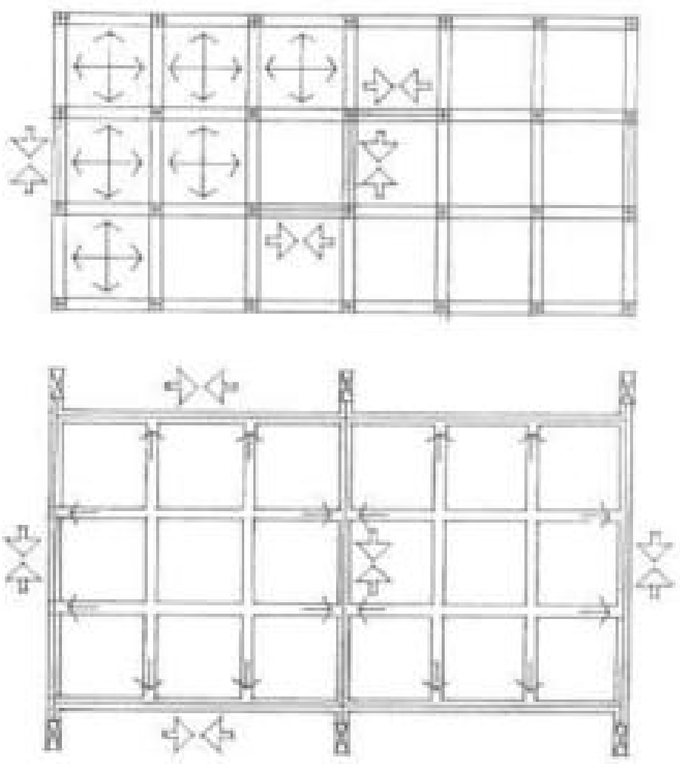


# Altura activa

Sistemas de estructuras de **5**



Rascacielos puente
Arranha-céus tipo ponte



Puentes superpuestos de una planta en celosía (= rigidización) cuyas plantas están en parte suspendidas y en parte apoyadas según un sistema reticular

Pontes sobrepostas de pavimento único de construção entrelaçada (=reforço de pavimento) com pavimentos modulares parcialmente sobrepostos e parcialmente suspensos

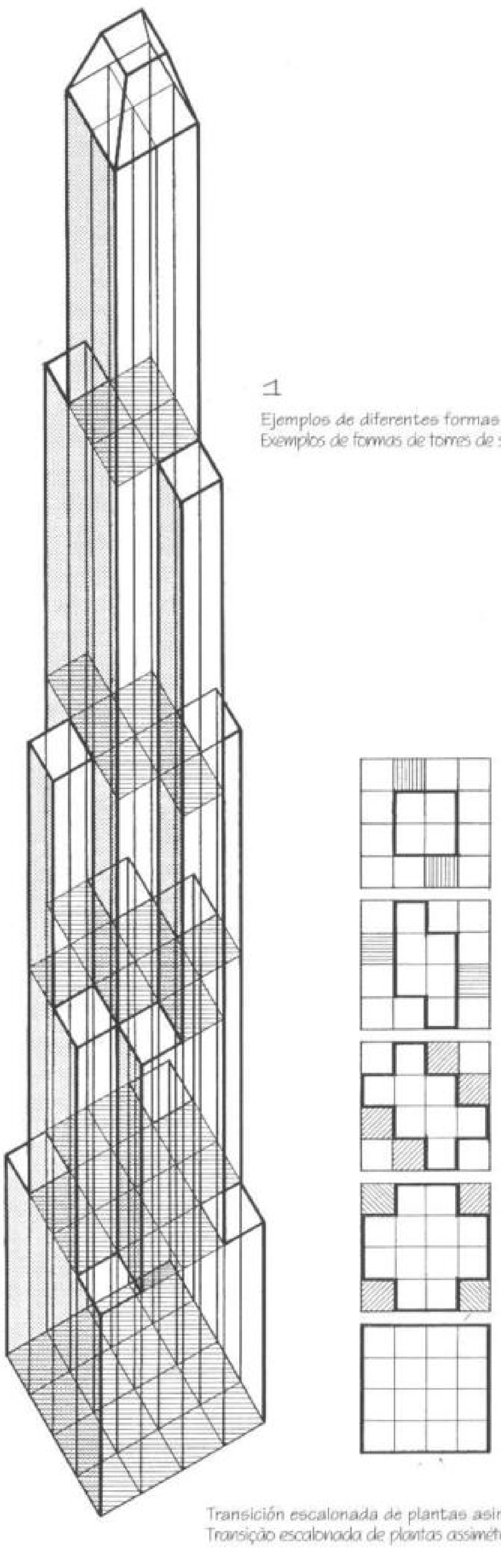
## Diferenciación de la geometría en altura de los rascacielos
## Diferenciação de geometrias de elevação em arranha-ceus

La superposición de plantas idénticas y, con ello, la repetición en altura, es una característica de los sistemas de estructuras de altura activa. Están basados en la transmisión directa y, en consecuencia, más económica, de los esfuerzos cortantes.

Sin embargo, también bajo el requisito de una transmisión sencilla de cargas, son múltiples las posibilidades de establecer una diferenciación en altura modificando el diseño de las plantas, sobre todo, reduciendo el perímetro a medida que aumenta la altura.

A sucessão de pavimentos idênticos sobrepostos, e portanto a repetição em altura, é uma característica dos sistemas estruturais de altura-ativa. Eles são caracterizados pela transmissão direta de cargas gravitacionais.

Porem, até sob a condição de uma transmissão simples de carga, multiplas possibilidades de diferenciação de alturas são permitidas através da alteração da configuração da planta de pavimento, principalmente aumentando-se o apastamento da planta em direção ascendente.



1

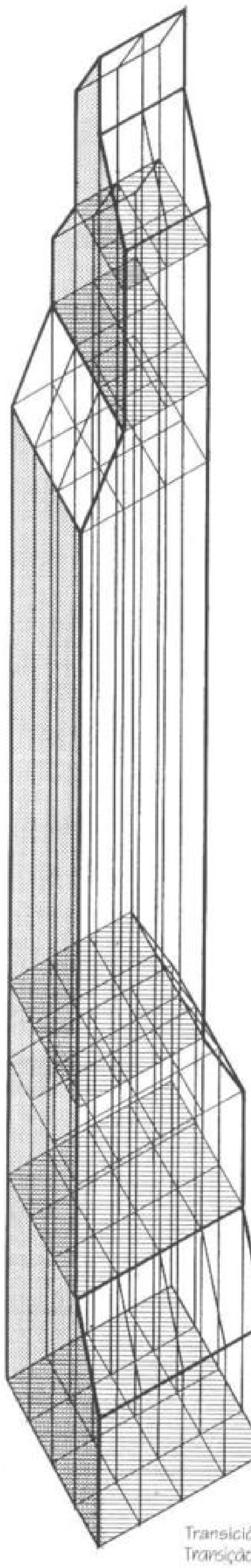
Ejemplos de diferentes formas de torres reticula
Exemplos de formas de torres de sistema modular

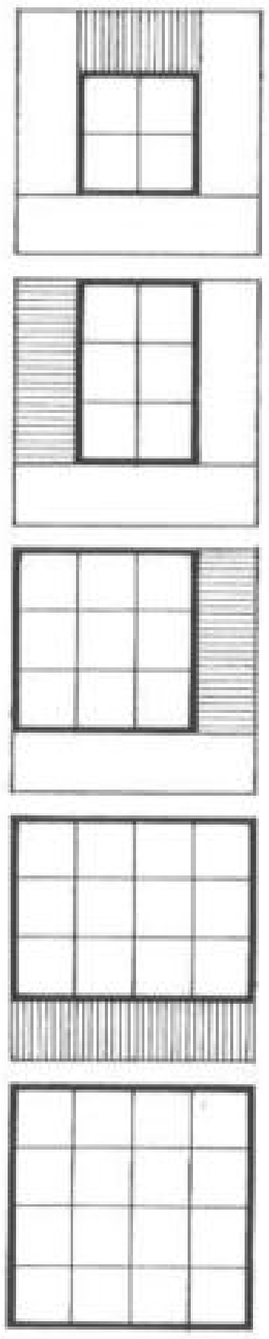


Transición escalonada de plantas asimétricas
Transição escalonada de plantas assimétricas

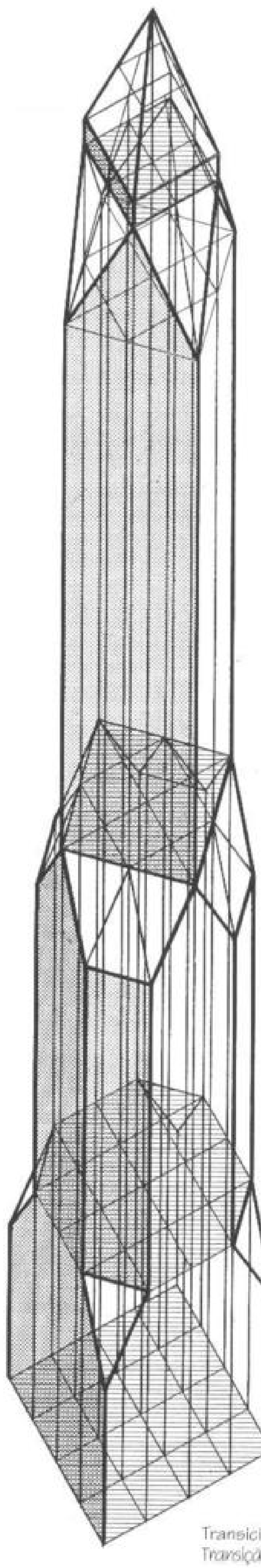
# 5 Altura activa

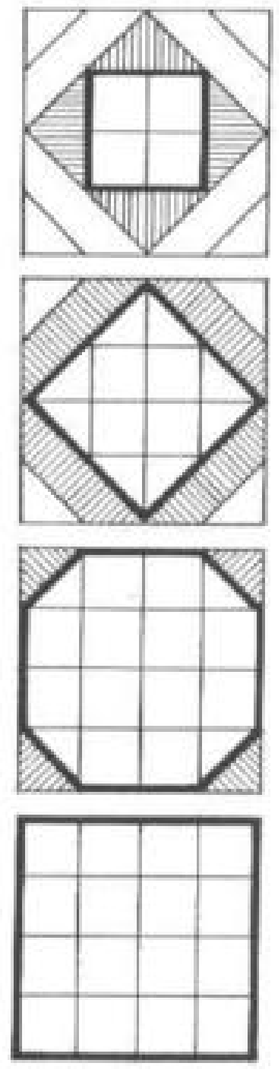
## Sistemas de estructuras de





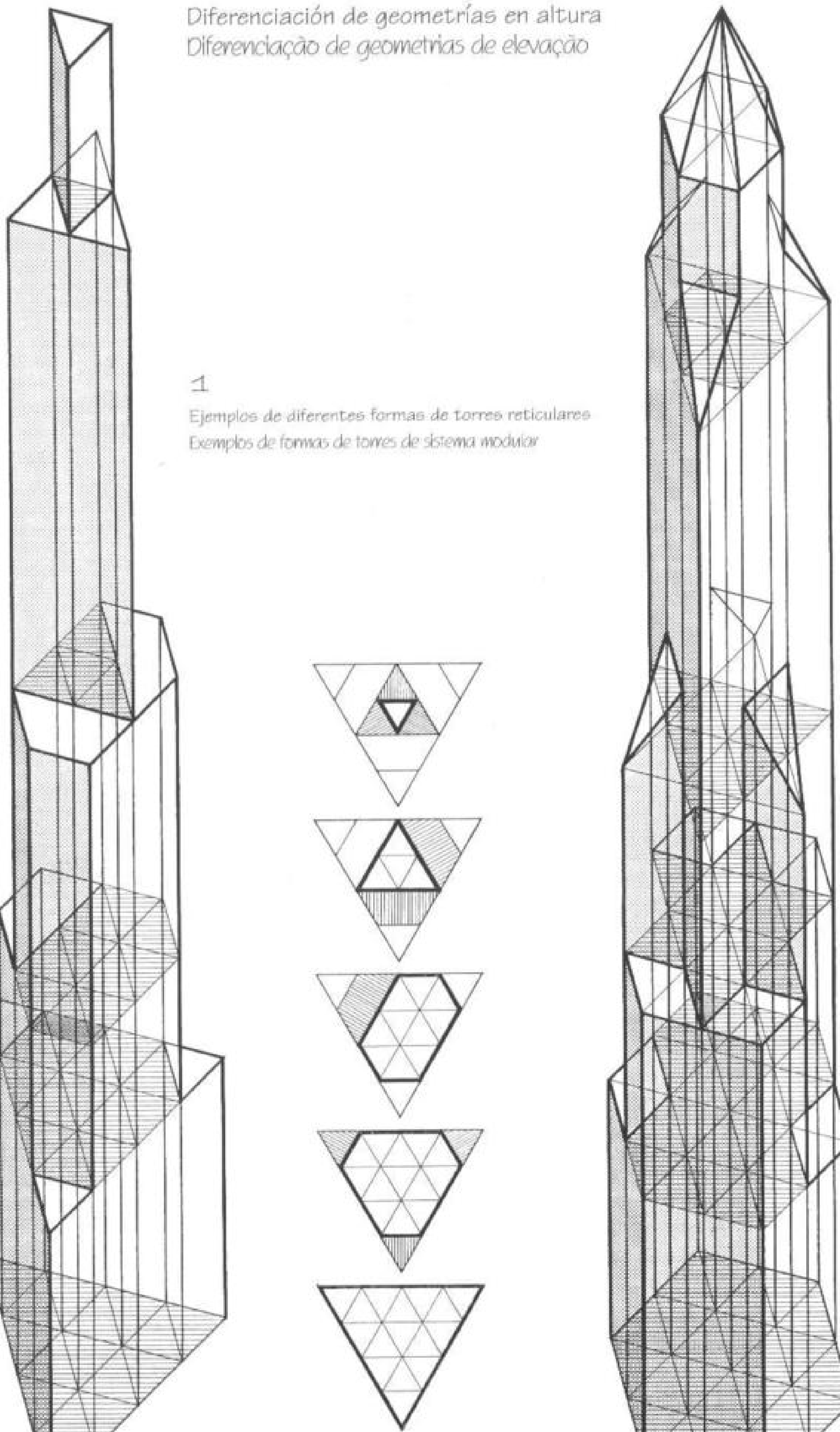
Transición de retranqueos por una fachada
Transição de aumento do afastamento em um lado da planta





Transición simétrica en diagonal
Transição de aumento simétrico do afastamento da planta

## Diferenciación de geometrías en altura
## Diferenciação de geometrias de elevação

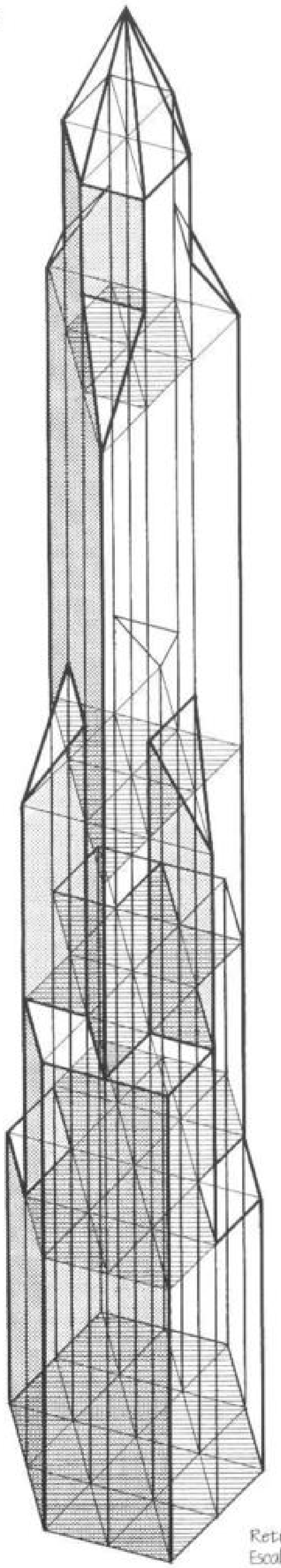


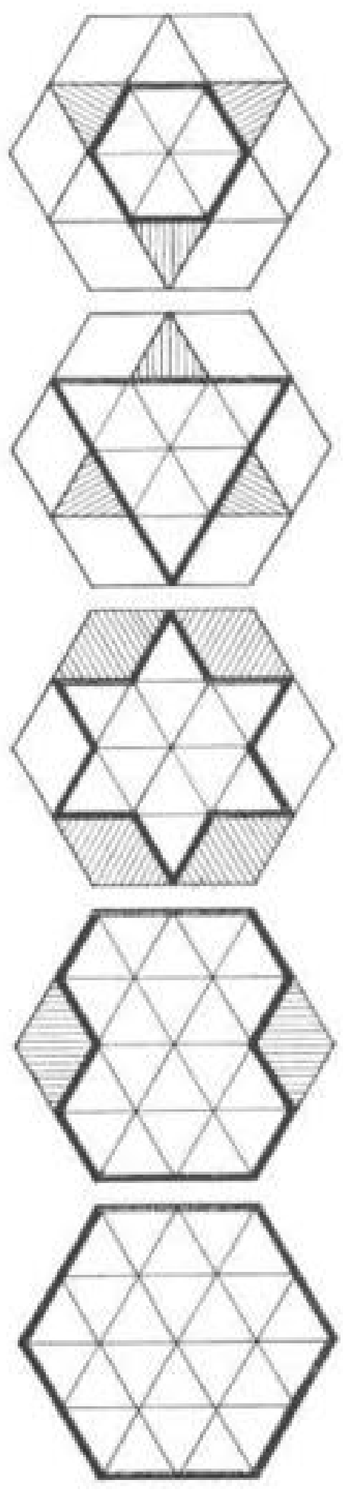
1

Ejemplos de diferentes formas de torres reticulares
Exemplos de formas de torres de sistema modular

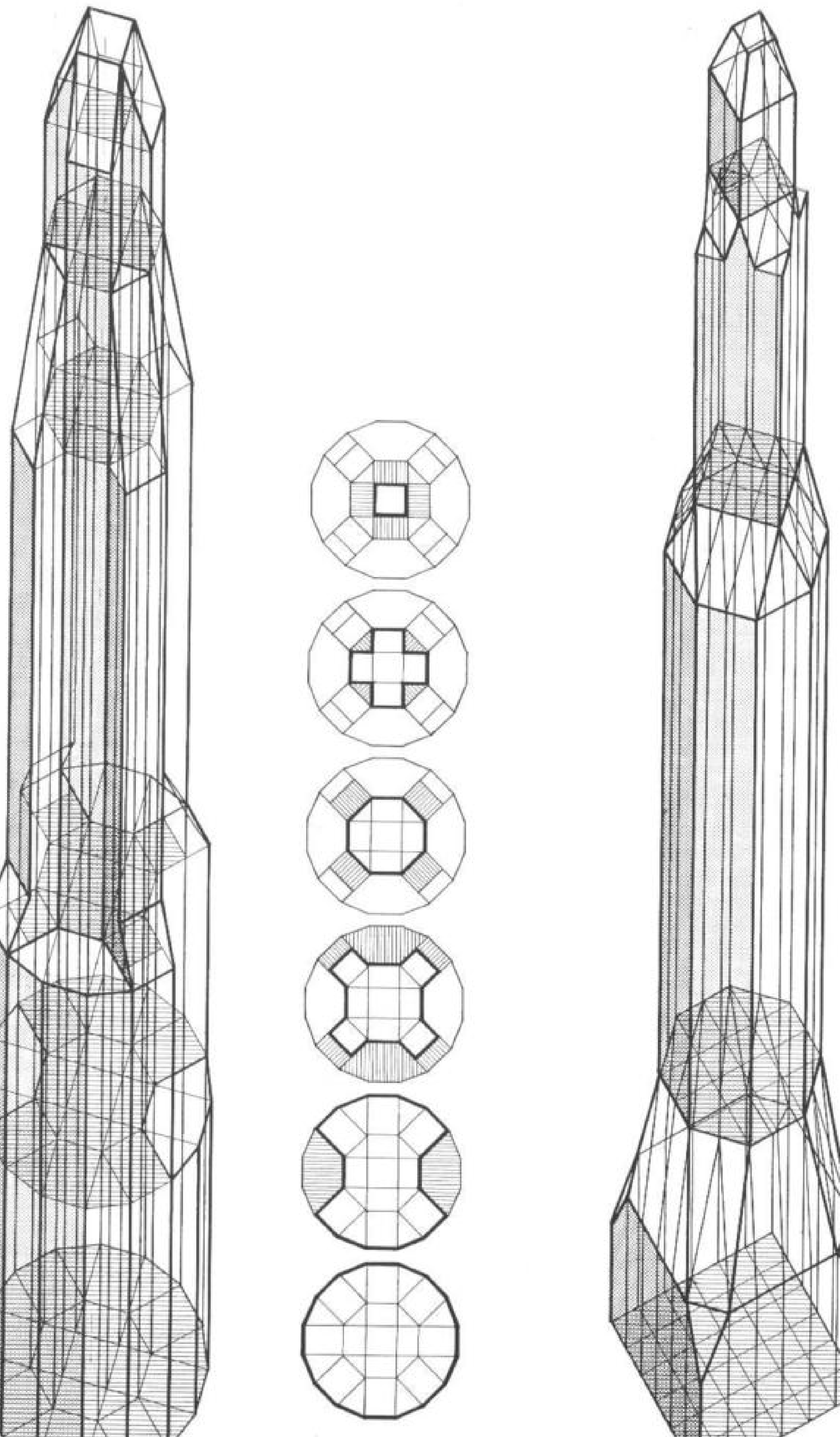


Retranqueos en planta a partir de un triángulo
Escalonamento do afastamento em planta
com um triângulo como figura básica

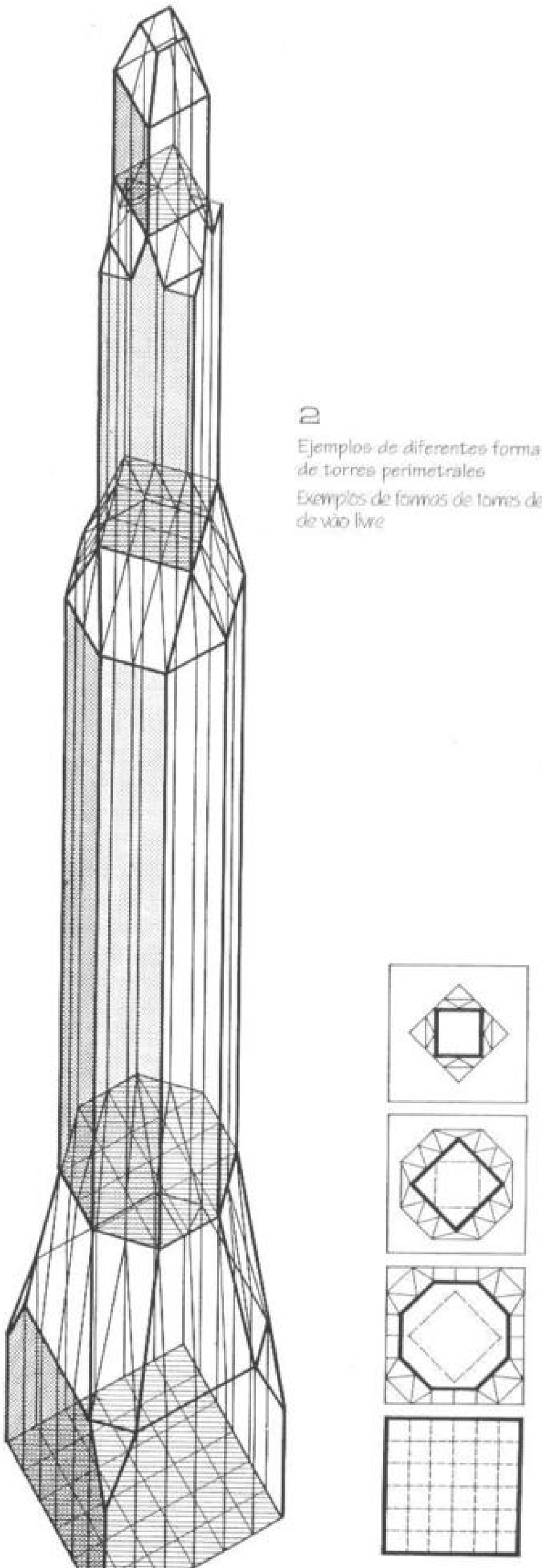




Retranqueos a partir de un hexágono
Escalonamento do afastamento em planta
com um hexágono como forma básica



Retranqueos a partir de un círculo
Escalonamento do afastamento em planta com um círculo como forma básica

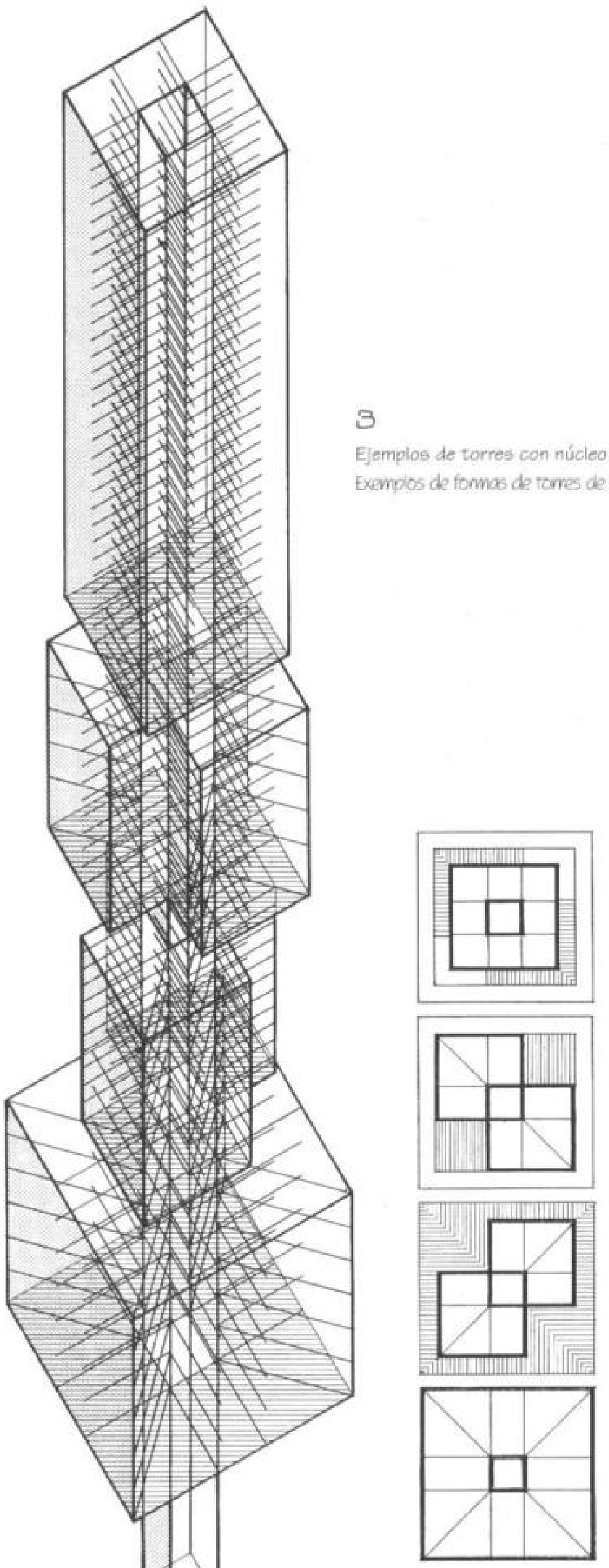


Transiciones graduales a través de varias plantas
Transições graduais em planta através de vários pavimentos

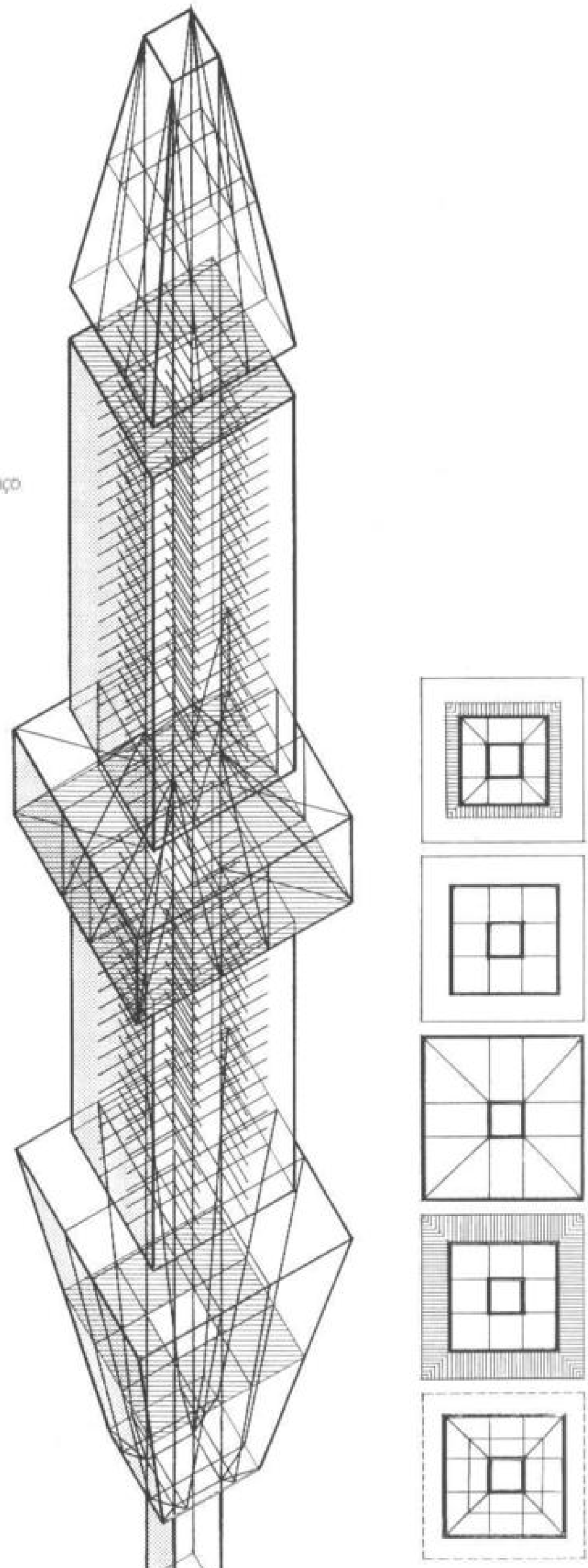
2

Ejemplos de diferentes formas de torres perimetrales
Exemplos de formas de torres de sistema de vão livre

3
Ejemplos de torres con núcleo central
Exemplos de formas de torres de sistema em balanço

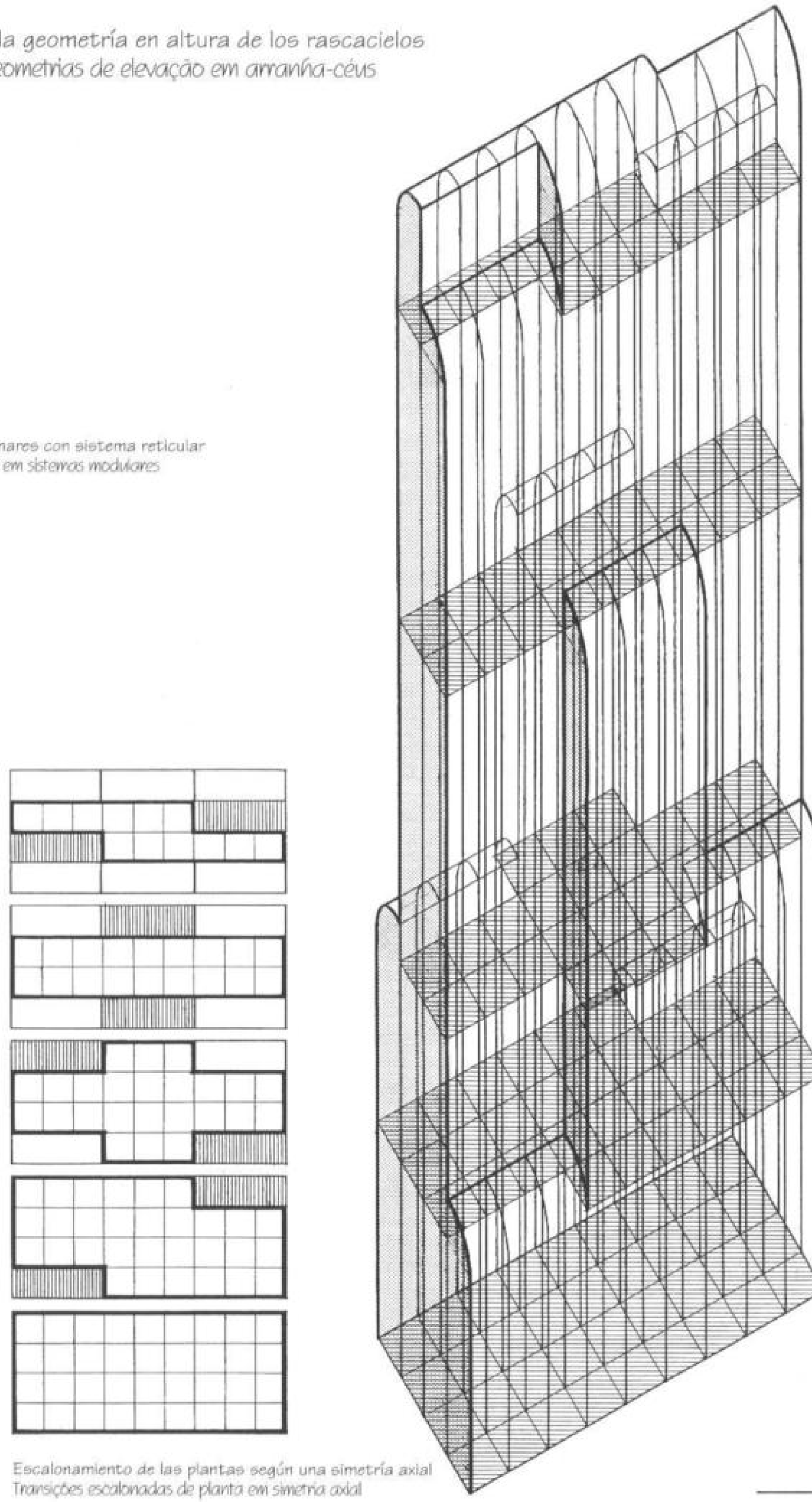


Voladizo de varias plantas agrupadas o una por una
Balanço de pavimento e de agrupamento de pavimentos



Voladizo / suspensión / apoyo
Balanço / suspensão / basculamento

Diferenciación de la geometría en altura de los rascacielos
Diferenciação de geometrias de elevação em arranha-céus



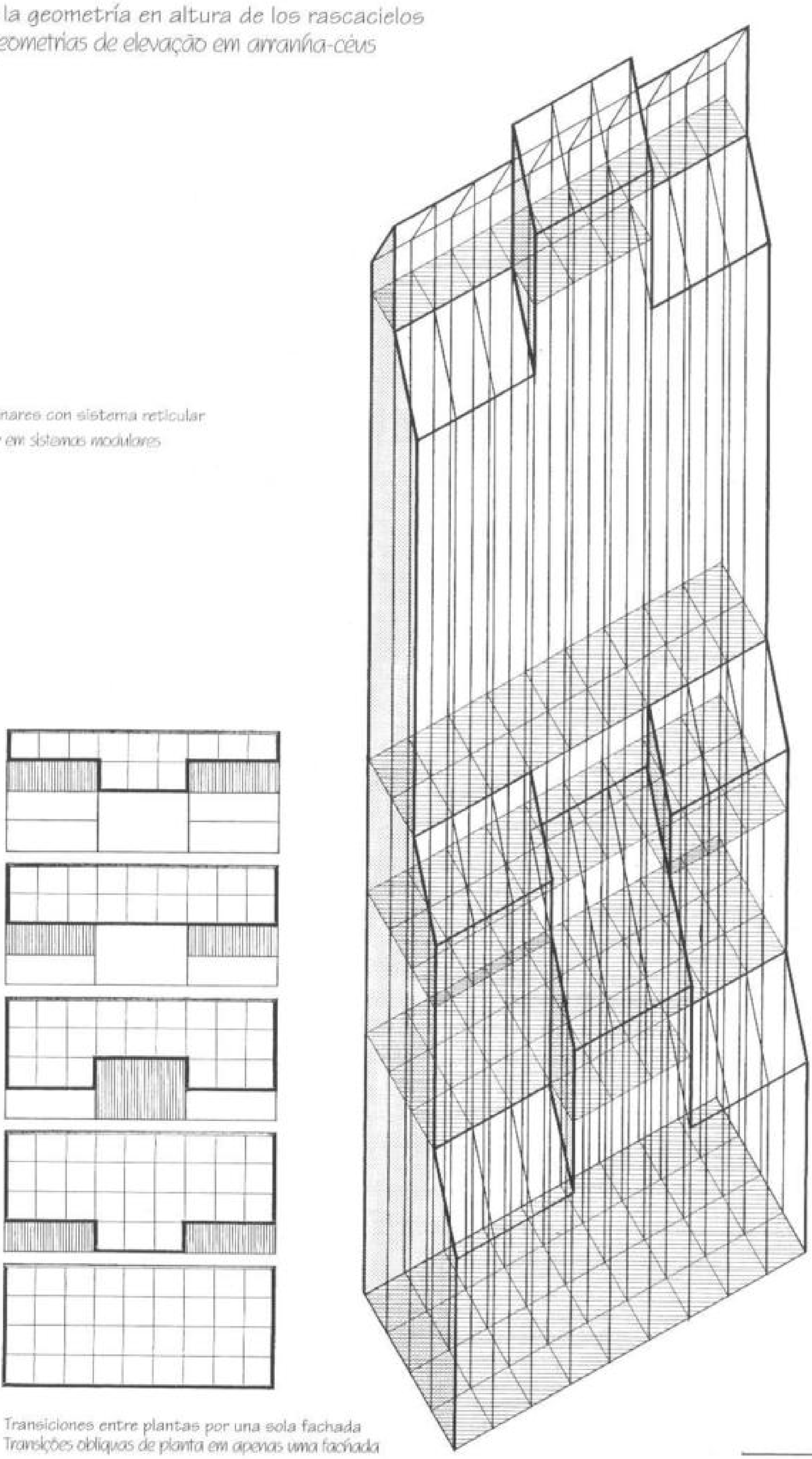
4

Ejemplos de formas laminares con sistema reticular
Exemplos de formas de laje em sistemas modulares



Escalonamiento de las plantas según una simetría axial
Transições escalonadas de planta em simetria axial

Diferenciación de la geometría en altura de los rascacielos
Diferenciação de geometrias de elevação em arranha-céus

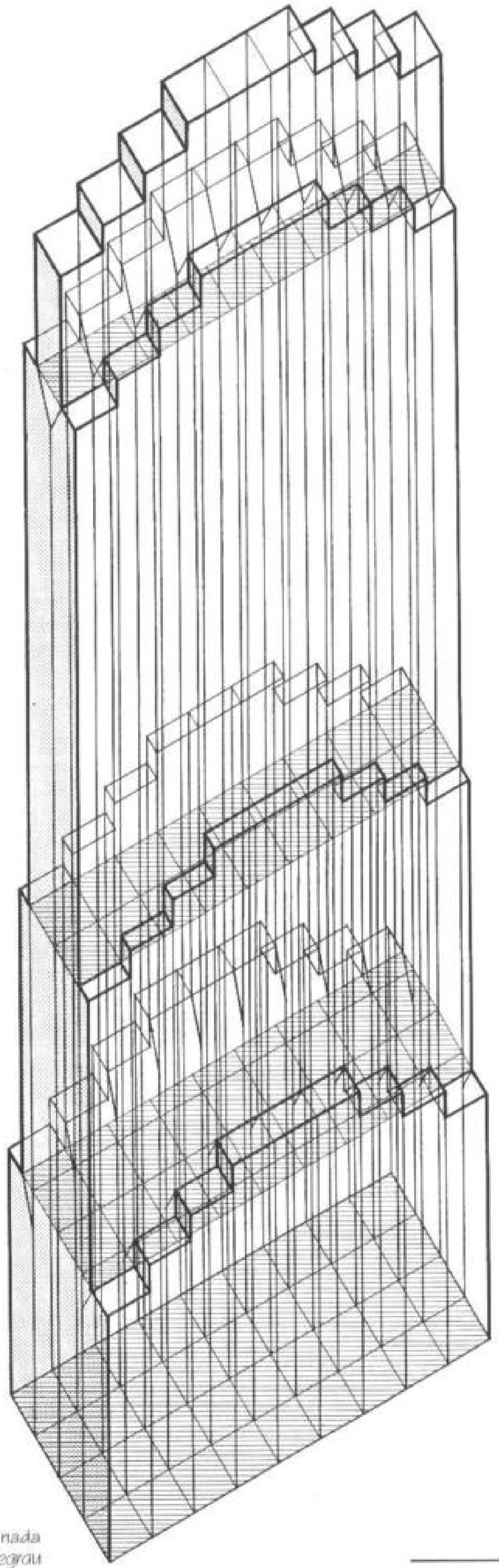


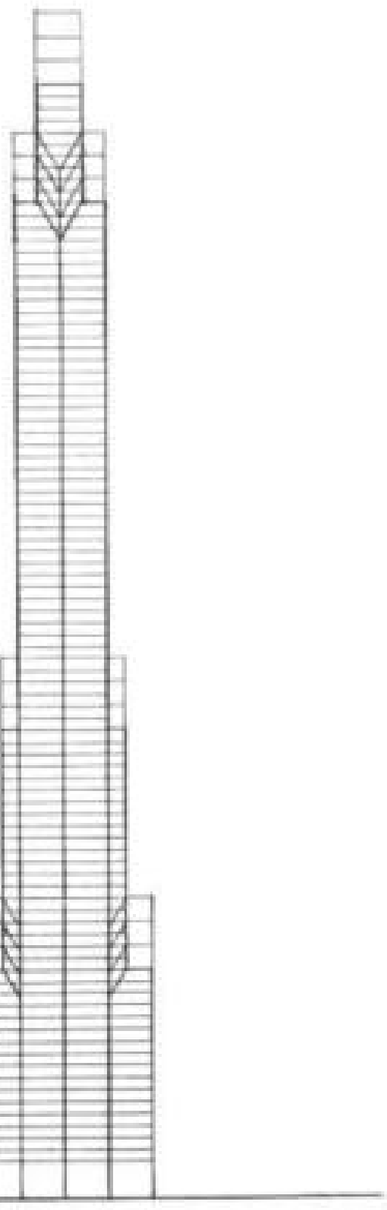
4

Ejemplos de formas laminares con sistema reticular
Exemplos de formas de lote em sistemas modulares



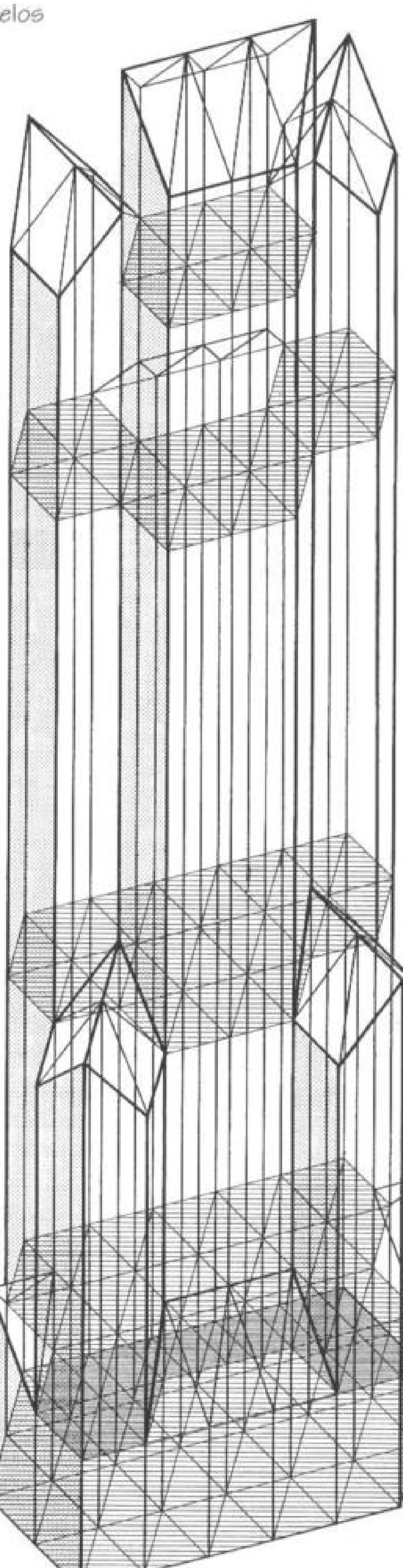
Transiciones entre plantas por una sola fachada
Transições oblíquas de planta em apenas uma fachada



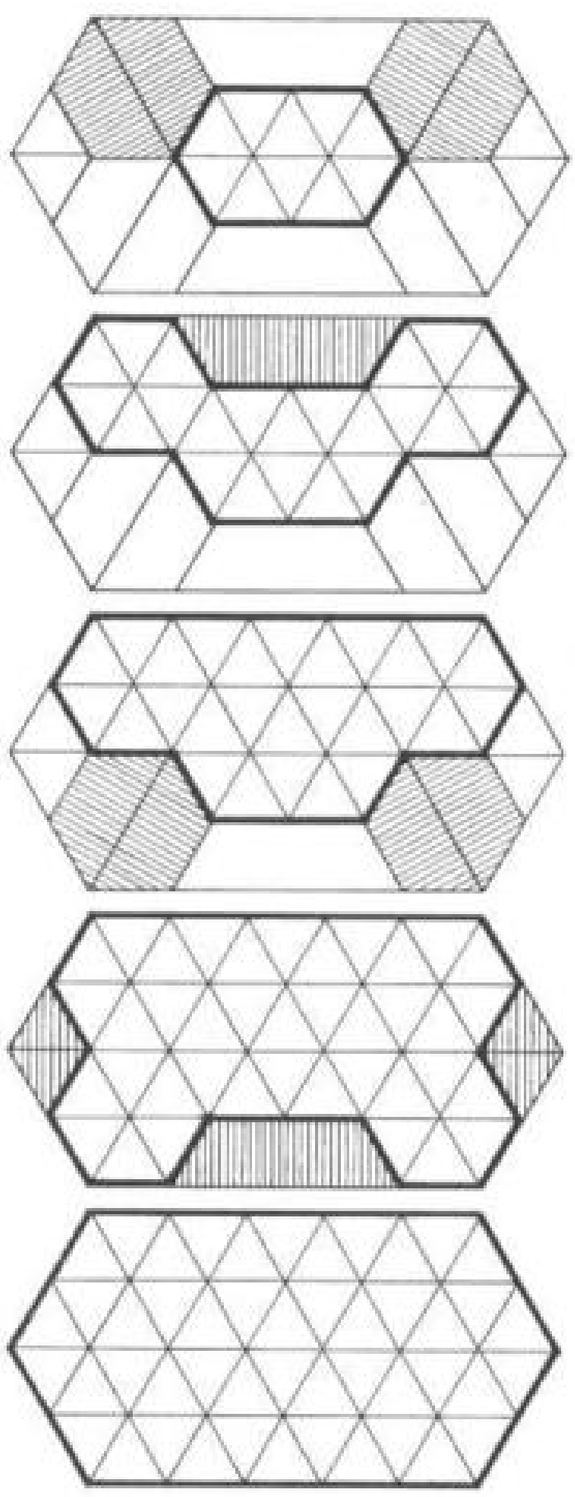


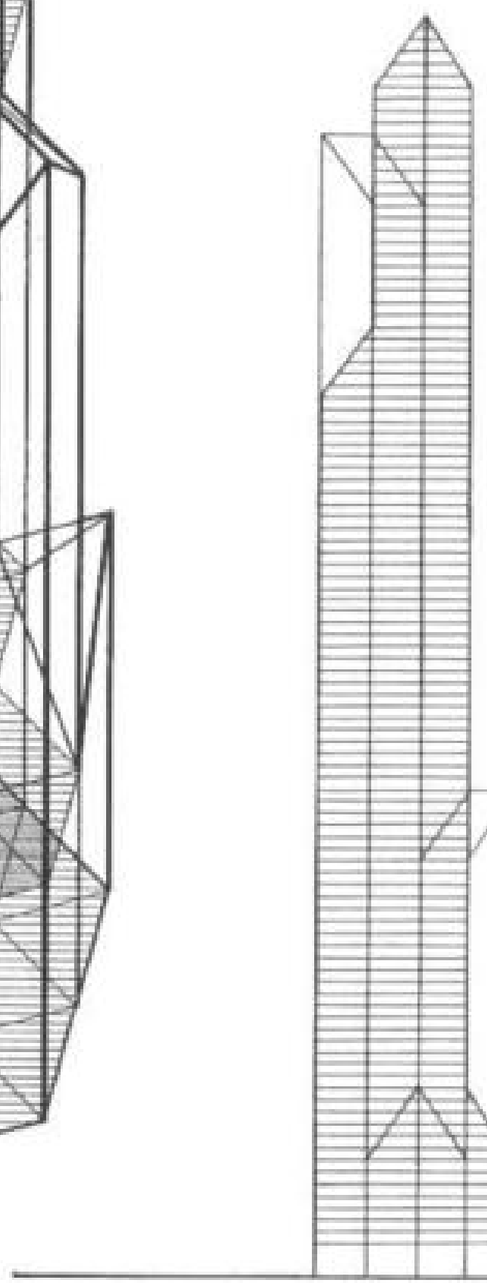
Transiciones entre plantas por dos fachadas en forma escalonada
*Transição escalonada de planta em duas fachadas em forma de degrau*

Diferenciación de la geometría en altura de los rascacielos
Diferenciação de geometrias de elevação em arranha-céus



4
Ejemplos de formas laminares con sistema reticular
Exemplos de formas de laje em sistemas modulares





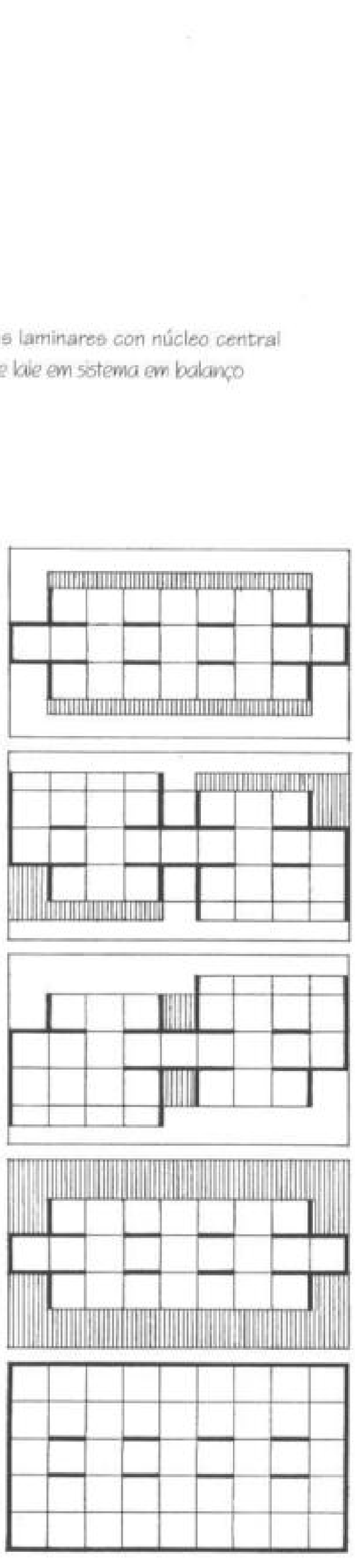
Retranqueos cubiertos a partir de una retícula triangular
Afastamentos em planta através da cobertura sobre malha triangular

# Altura activa

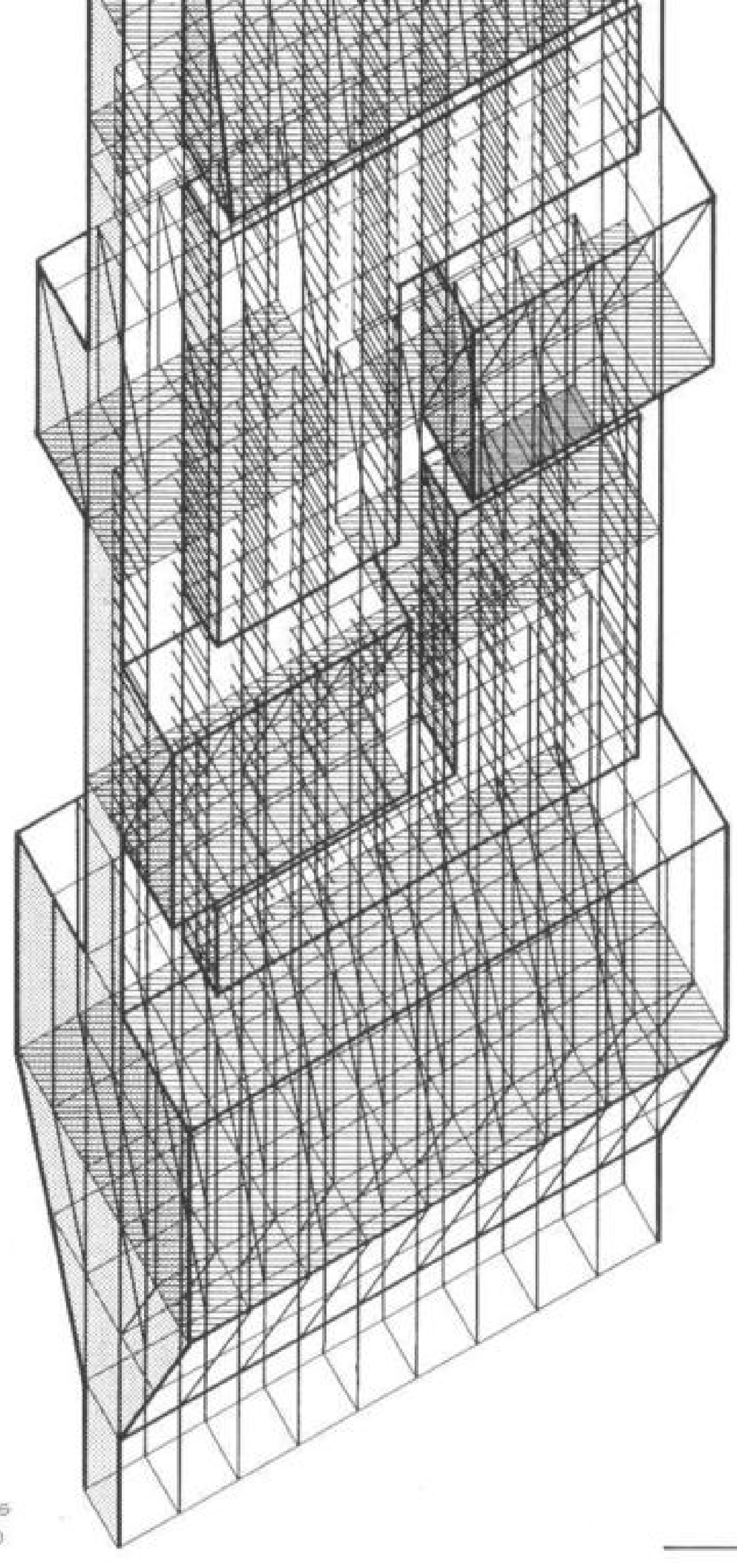
## Sistemas de estructuras de 5

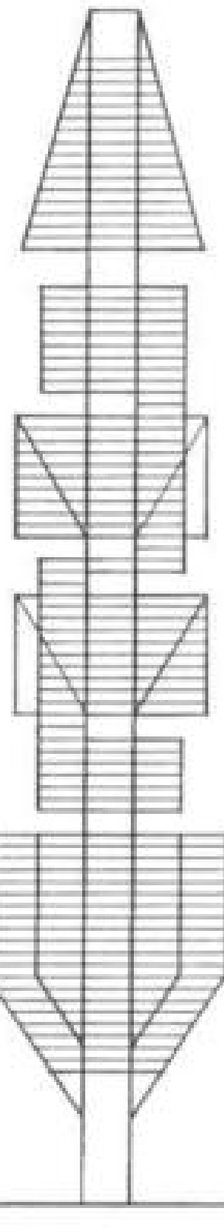
05

Ejemplos de formas laminares con núcleo central
Exemplo de forma de laje em sistema em balanço



Alternancia de voladizos, suspensiones y apoyos
Alternância de balanços, suspensão e basculamento





# Sistemas de estructuras híbridos
# Sistemas estruturais híbridos

# 6

Se pueden unir dos sistemas de estructuras con diferentes mecanismos de transmisión de cargas para formar una unidad con una mecánica nueva: sistemas de estructuras híbridos.

El requisito previo de un sistema estructural híbrido es que los dos sistemas originales sean equiparables en cuanto a su función portante y que dependan uno de otro en su nuevo comportamiento

No se han de entender como sistemas de estructuras híbridos aquellas combinaciones en las que uno de los sistemas originales juega un papel subordinado en la transmisión de cargas, o cuando cada uno de los sistemas cumple por separado una función independiente en el proceso de transmisión, por ejemplo, absorción de cargas, trasmisión de cargas o estabilización, etc.

Los sistemas híbridos no pueden considerarse como un "tipo" de sistema estructural independiente o singular:
- No poseen ningún mecanismo típico de transmisión de cargas.
- No desarrollan ningún estado específico de esfuerzos o tensiones.
- No disponen de características estructurales propias.

Por lo tanto, a diferencia de los sistemas de estructuras típicos, los sistemas de estructuras híbridos no se caracterizan por un mecanismo propio de transmisión de cargas con formas características de la estructura, sino por la manera específica de actuar y al tipo de relación resultante debido a la agrupación de sistemas. En tanto asociación de diferentes tipos estructurales, no permiten deducir ninguna definición mecánica o estructural.

La unión de diferentes tipos de estructura para formar un conjunto híbrido se consigue básicamente a partir de tres maneras posibles de relación:
1. Unión en paralelo = superposición o alineación.
2. Unión sucesiva = acoplamiento.
3. Unión cruzada = interpenetración.

En la superposición de sistemas de estructuras híbridos, la transmisión de cargas se efectúa a través de dos sistemas diferentes que actúan en paralelo. La acción en paralelo suele ser el resultado de la superposición de los dos sistemas, aunque teóricamente también es posible una alineación lateral de sistemas de estructuras.

En el acoplamiento de sistemas de estructuras híbridos, la transmisión de cargas se realiza a través de diferentes sistemas de estructuras que se eligen y unen sucesivamente según las necesidades mecánicas locales de las diferentes secciones. De esta manera, también son posibles acoplamientos múltiples.

También se puede alcanzar una relación híbrida interponiendo los elementos de uno de los sistemas estructurales en el otro: interpenetración. De todas maneras, este tipo de relación aún no se ha tenido en cuenta ni en la teoría ni en la práctica y, por ello, aquí no se contempla como una alternativa válida.

Otro campo de aplicación de los sistemas de estructuras híbridos es, en especial, la asociación de jácenas lineales de vector o sección activa con estructuras de cables:
- Sistemas con soportes de cables por encima suyo.
- Sistemas con cables a tracción integrados.

La frontera con los sistemas pretensados más usuales, con su sencilla y ocasionalmente parcial articulación de las tensiones, es bastante difusa.

El potencial de los sistemas estructurales híbridos no se basa tanto en la simple yuxtaposición de la capacidad portante de dos sistemas, sino en las posibilidades sinergéticas que resultan de aprovechar las diferencias entre los sistemas:
- Compensación recíproca de esfuerzos críticos.
- Función doble o múltiple de los diferentes elementos de ambos sistemas.
- Mayor rigidez debido a deformaciones opuestas de los diferentes sistemas.

Para diseñar sistemas estructurales híbridos hay que basarse, sobre todo, en dos aspectos:
1. Diseñar una unidad –tanto mecánica como estética– a partir de dos sistemas independientes.
2. Aprovechar las relaciones sinergéticas entre los tipos de sistemas estructurales.

Para ello se necesita un amplio conocimiento de cada uno de los sistemas de estructuras y, en especial, de la imagen de su transmisión de cargas y su deformación bajo diferentes estados de carga.

Los sistemas de estructuras híbridos son especialmente apropiados para edificios que están sometidos a grandes cargas: estructuras de grandes luces y rascacielos. En estos casos, las posibilidades derivadas de la unión de dos sistemas, con una imagen de la tensión y de la deformación de cada uno de los elementos portantes, apenas se han investigado.

A pesar de que la causalidad mecánica de las estructuras híbridas es incuestionable, también pueden servir de base o meta para desarrollar nuevos sistemas de estructuras híbridos las consideraciones visuales y estéticas; este método de diseño tampoco se ha investigado apenas hasta ahora.

De la unión de diferentes sistemas de estructuras con características formales y mecánicas propias, resultan medios y posibilidades muy prometedoras para el desarrollo de nuevos sistemas portantes, con incentivos para el diseño de formas y espacios arquitectónicos.

Por lo tanto, los sistemas de estructuras híbridos ocupan, dentro de la teoría de las estructuras, un campo muy especial. Independientemente de que, debido a su falta de una mecánica y forma estructural reconocible, no puedan identificarse como un sistema autónomo, su potencial sinergético y su interminable multiplicidad de posibilidades de combinación, conllevarán que, en el futuro, estos sistemas constituyan una rama propia e importante de los sistemas de estructuras.

Dois sistemas estruturais com mecânicas diferentes de redistribuição de forças podem ser unidos para formar uma construção operacional única com nova mecânica: sistemas estruturais híbridos.

Uma pré-condição para um sistema estrutural híbrido é que os dois sistemas originais em suas funções de sustentação sejam basicamente equipotentes e que em seu novo comportamento sejam dependentes um do outro.

Os sistemas híbridos não devem ser entendidos como combinações de sistemas nos quais um deles tem um papel menor na redistribuição das forças ou em que cada sistema atua separadamente no processo de sustentação, como a recepção de cargas, transmissão de cargas, estabilização, etc.

Os sistemas híbridos não se qualificam como uma única "família" de estruturas ou como um tipo de estrutura característico:
- Eles não possuem um mecanismo inerente de redistribuição de forças
- Eles não desenvolvem uma condição específica de forças atuantes ou esforços
- Eles não apresentam características estruturais típicas próprias

Diferentemente das famílias típicas de estruturas, os sistemas estruturais híbridos são caracterizados não por um mecanismo particular de redistribuição de forças e por uma falta de caracterização das formas estruturais mas por um específico comportamento atuante dos sistemas unidos, e pelo tipo de união dos sistemas resultantes.

A associação de diferentes famílias de estruturas, para formar um único sistema operacional híbrido de construção, torna-se possível através de três tipos básicos de união:
1. União paralela = sobreposição ou alinhamento
2. União sucessiva = acoplamento
3. União cruzada = interseção

Nas uniões dos sistemas híbridos de tipo sobreposição, a redistribuição de forças será realizada coletivamente por dois diferentes sistemas estruturais unidos em paralelo sobre a longitude estrutural completa. Normalmente, a união paralela implica um sistema por cima de outro, mas também um sistema de alinhamento lateral é teoricamente possível.

Nas uniões dos sistemas híbridos de tipo acoplamento, a reorientação de forças será realizada nas diferentes estruturas de sistemas selecionadas segundo as exigências mecânicas prevalescentes nas várias seções da longitude estrutural e unidas sucessivamente uma após a outra. Desta maneira, os acoplamentos múltiplos também são possíveis.

Uma união híbrida pode também ser efetiva por possuir elementos de um tipo de estrutura cruzando aqueles outros que formam um tipo de malha. Este tipo de união, porém, permanece pouco conhecido na teoria e na prática, e por isso não será aceito como uma alternativa válida.

Um grande campo de aplicação dos sistemas estruturais híbridos é proporcionado em particular através da combinação de vigas lineares de vetor-ativo ou seção-ativa com estruturas de cabos:
- Sistemas com apoios de cabos externos
- Sistemas com cabos tracionados integrados

Sua fronteira como os sistemas pré-tensionados de simples e, em ocasiões, parcial extensão do cabo de tensão é bastante difusa.

O potencial dos sistemas estruturais híbridos todavia não deve ser visto como a mera união da capacidade de suporte dos dois sistemas, mas sim em suas posssibilidades sinergéticas que decorrem da exploração das diferenças dos sistemas:
- Compensação recíproca dos esforços críticos
- Sistema de função dupla ou múltipla dos sistemas componentes individuais
- Aumento em rigidez através de sistemas de deflexão oposta

Projetar sistemas estruturais híbridos é preocupar-se essencialmente com dois objetivos:
1. Criar uma identidade pouco comum entre dois sistemas independentes em sentido mecânico e estético
2. Aproveitar as relações sinergéticas entre os sistemas de famílias

Para dominar estas tarefas é necessário um profundo conhecimento de todos os sistemas estruturais, especialmente dominar a visualização de cada fluxo de forças e sua forma de deflexão sob as variações de cargas.

Os sistemas híbridos estruturais são particularmente apropriados para edifícios expostos à esforços extremos: estruturas de grandes vãos e arranha-céus. Neste campo, as possibilidades de resultado da união de dois sistemas com componentes de esforço e forma de deflexões de características opostas ainda têm que ser descobertas.

Embora a causalidade dos sistemas híbridos seja inquestionável, considerações estéticas e visuais podem tornar-se o princípio e a meta final para o desenvolvimento de novos sistemas híbridos; tal possibilidade de projeto tem ainda um amplo campo inexplorado.

Da união de diferentes estruturas, cada uma com as suas características mecânicas e formais próprias, evoluem promissores significados e possibilidades de desenvolvimento de novos sistemas estruturais de alto nível de comportamento e com novos impulsos para o projeto da forma ou espaço em arquitetura.

Os sistemas estruturais híbridos ocupam portanto um campo particular dentro da teoria das estruturas. Embora não comandem seu próprio mecanismo e conseqüentemente não sejam qualificados como um tipo de sistema, dispõem de um potencial sinergético, assim como de uma infinita variedade de possibilidades de combinações, suficientes para formar, apesar de suas diferenças, uma importante rama separada dos sistemas estruturais.

SISTEMAS DE ESTRUCTURAS HÍBRIDOS

son sistemas en los que la transmisión de cargas se realiza mediante la acción conjunta de dos o más mecanismos de diferentes tipos estructurales, básicamente equivalentes en cuanto a su función portante.

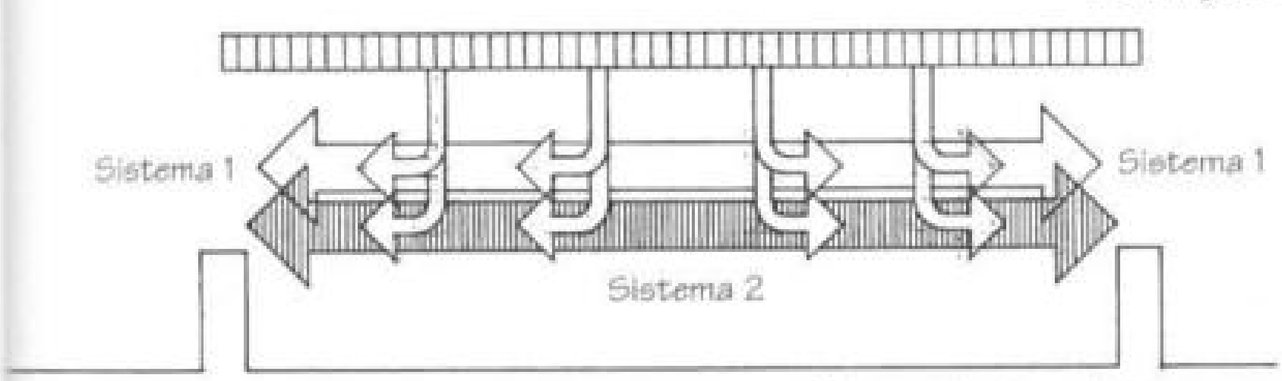
La acción conjunta se consigue a través de dos posibles maneras de relación: SUPERPOSICIÓN o ACOPLAMIENTO.

SISTEMAS ESTRUTURAIS HÍBRIDOS

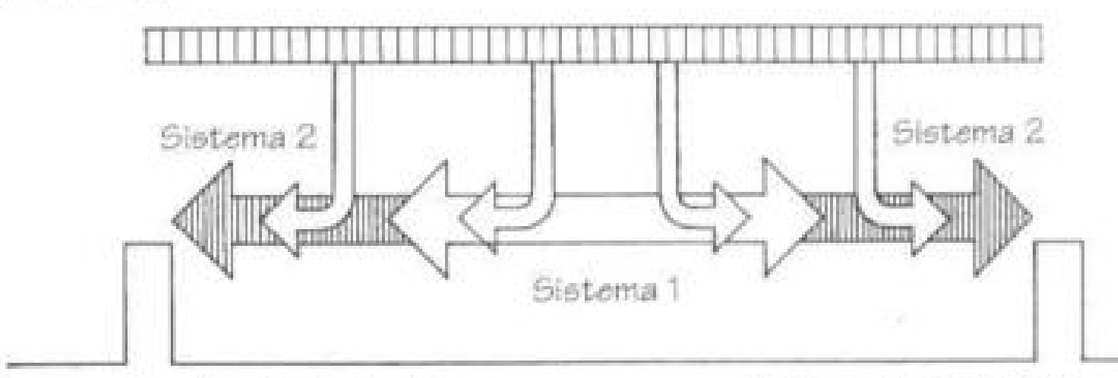
São sistemas nos quais a redistribuição de forças é efetuada através da ação conjunta de dois ou vários mecanismos de diferentes "famílias" de estruturas exercendo função estrutural basicamente equipotente.

A ação conjunta é realizada por dois possíveis tipos de sistemas de união: SOBREPOSIÇÃO OU ACOPLAMENTO.

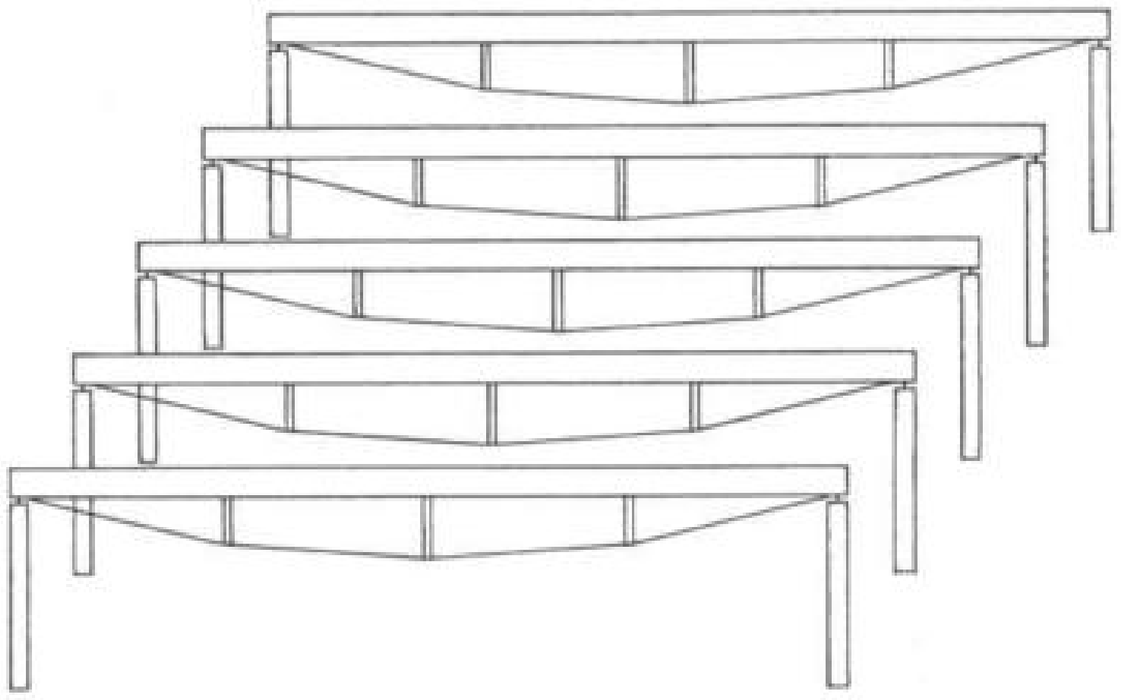
## Definición de "híbrido"
## Definição de "híbrido"

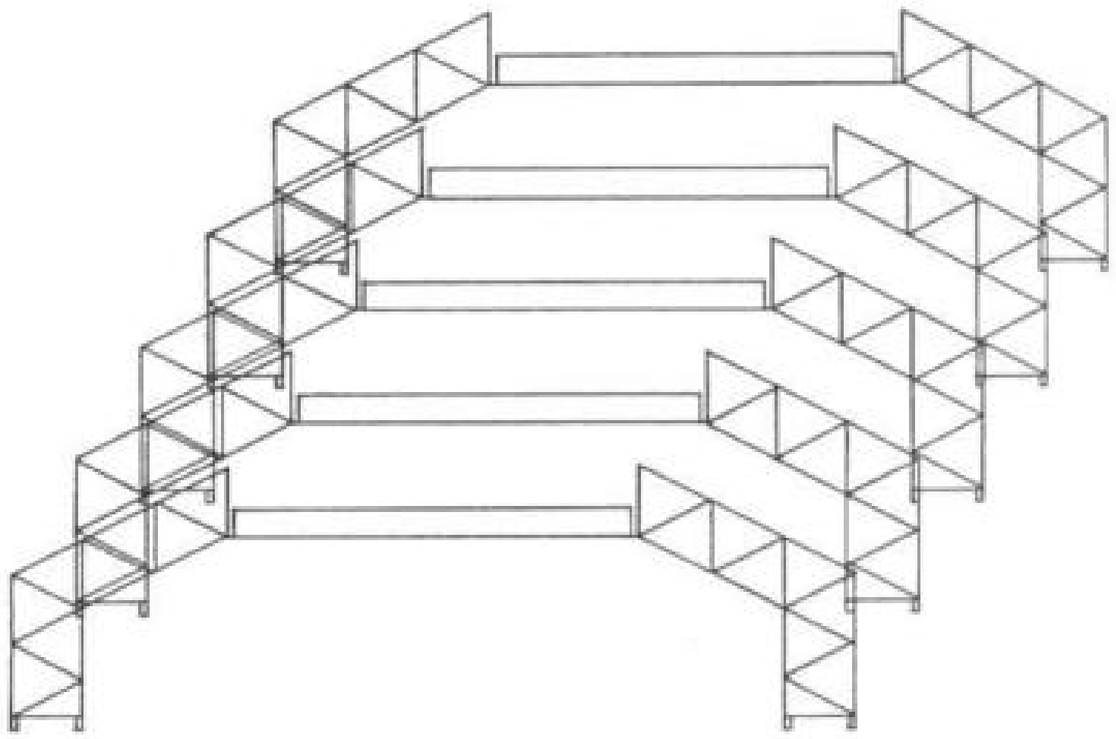



Superposición de sistemas — Sistemas de sobreposição




Acoplamiento de sistemas — Sistemas de acoplamento

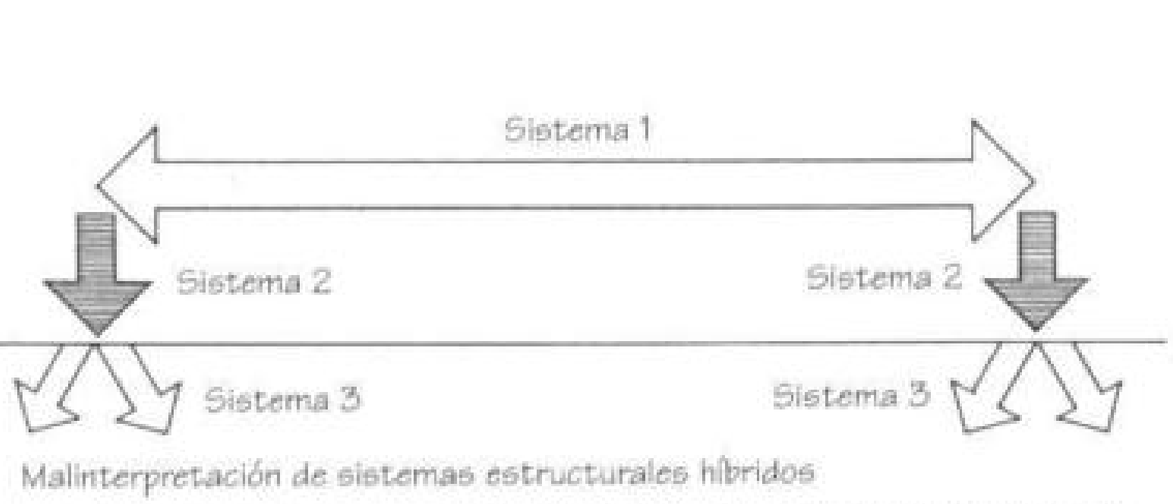




## Delimitaciones terminológicas

Denominación incorrecta de sistemas "híbridos"

Entre los sistemas de estructuras híbridos NO deben incluirse aquellos sistemas en que la función individual de los componentes del sistema estructural (absorción y transmisión de cargas, estabilización, etc.) las efectúan estructuras de diferentes tipos estructurales.




Malinterpretación de sistemas estructurales híbridos

Los sistemas estructurales híbridos NO pueden considerarse como una "FAMILIA" estructural independiente o como un "TIPO" estructural definido:

1. No poseen ningún mecanismo típico de transmisión de cargas.
2. No presentan ningún estado característico de tensiones o esfuerzos.
3. No disponen de ninguna característica estructural.

## Demarcações terminológicas

Denominação inadequada de 'híbridos'

Os sistemas estruturais híbridos NÃO devem ser entendidos como sistemas nos quais as funções individuais dos componentes estruturais (absorção de cargas, transmissão de cargas, descarga de cargas, estabilizações, etc.) são feitas por sistemas pertencentes a diferentes 'famílias' de estruturas.

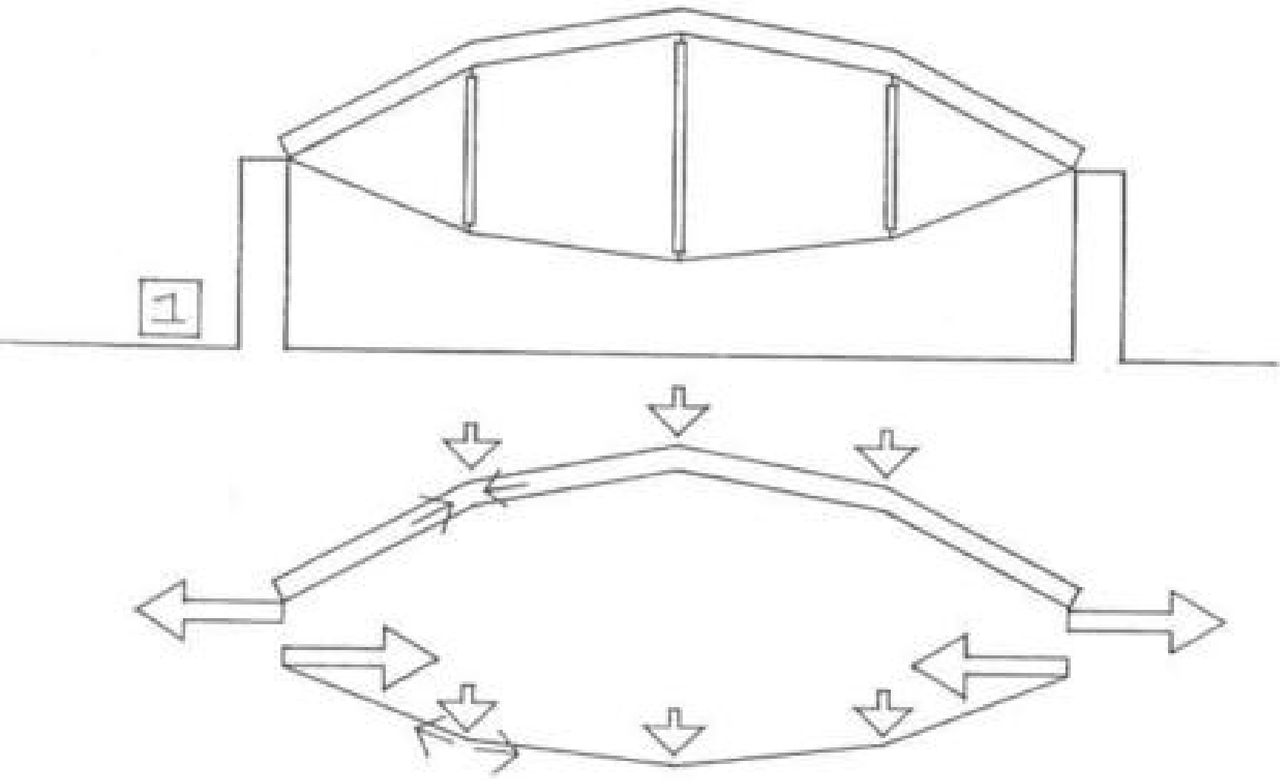
Má interpretação dos sistemas estruturais híbridos

Os sistemas estruturais híbridos NÃO devem ser qualificados como uma "FAMÍLIA" de estruturas ou como uma estrutura "TIPO" definível por específicas características estruturais:

1. Eles não possuem um mecanismo inerente de redistribuição de forças.
2. Eles não desenvolvem uma condição específica para forças atuantes ou esforços.
3. Eles não apresentam características estruturais típicas.

## Potencial de los sistemas híbridos de superposición

## Potencial de sistemas híbridos de sobreposição

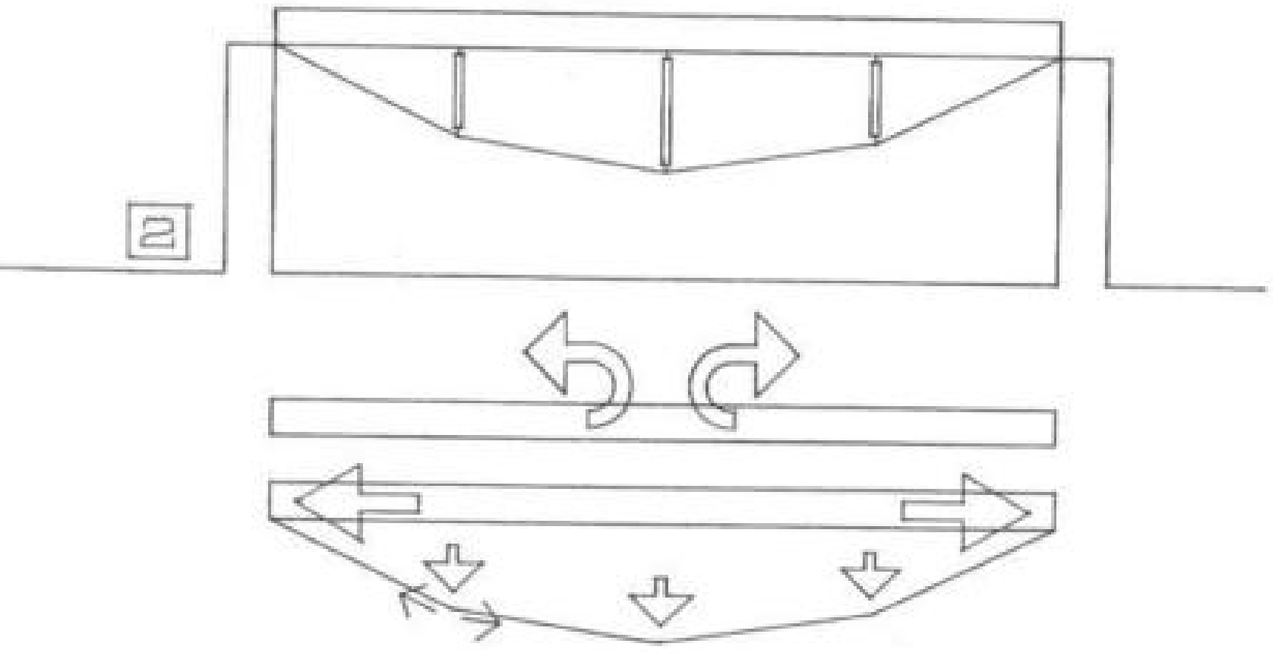



Compensación y fuerzas críticas

Mediante la superposición, se pueden reducir o compensar totalmente las fuerzas críticas de un sistema con las del otro. Ejemplo: Fuerzas horizontales en dirección opuesta en los soportes de un arco y un cable de suspensión.

Compensação de forças críticas

Através da sobreposição, as forças críticas de um sistema podem ser diminuídas ou totalmente compensadas pelas forças opostas do outro.
Exemplo: Forças horizontais em direções opostas nos apoios do arco e cabos de suspensão.

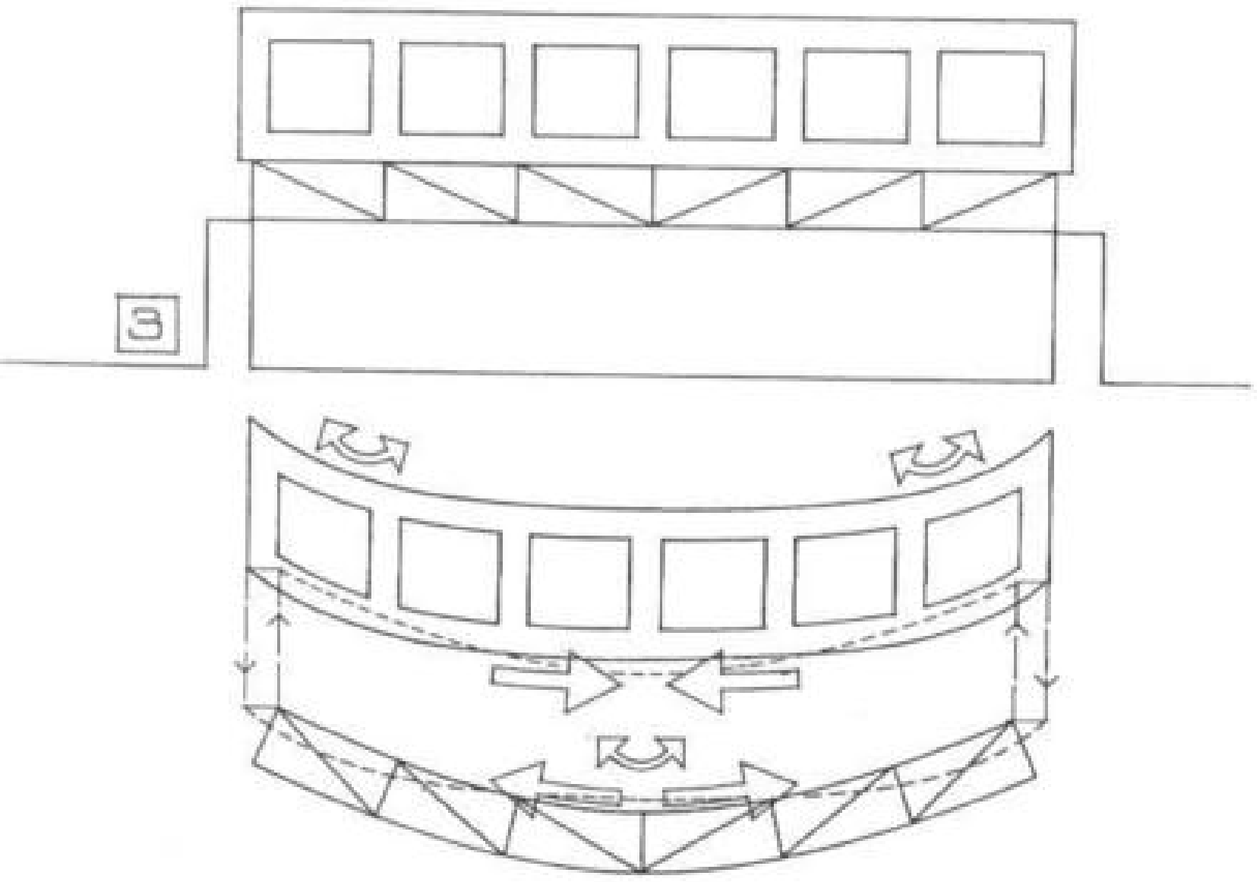



Función estructural múltiple

Mediante la superposición es posible asignar a los elementos estructurales diferentes funciones del sistema estructural conjunto.
Ejemplo: Funciones del cordón superior
+ como viga continua a flexión
+ como barra a tracción del sistema de suspensión.

Multi-função estrutural

Através da sobreposição é possível conceder ao componente estrutural individual diferentes funções dos sistemas sobrepostos.
Exemplo: Função da corda de topo
+ como viga contínua em flexão
+ como barra à tração do sistema de suspensão.




Reducción de la deformación

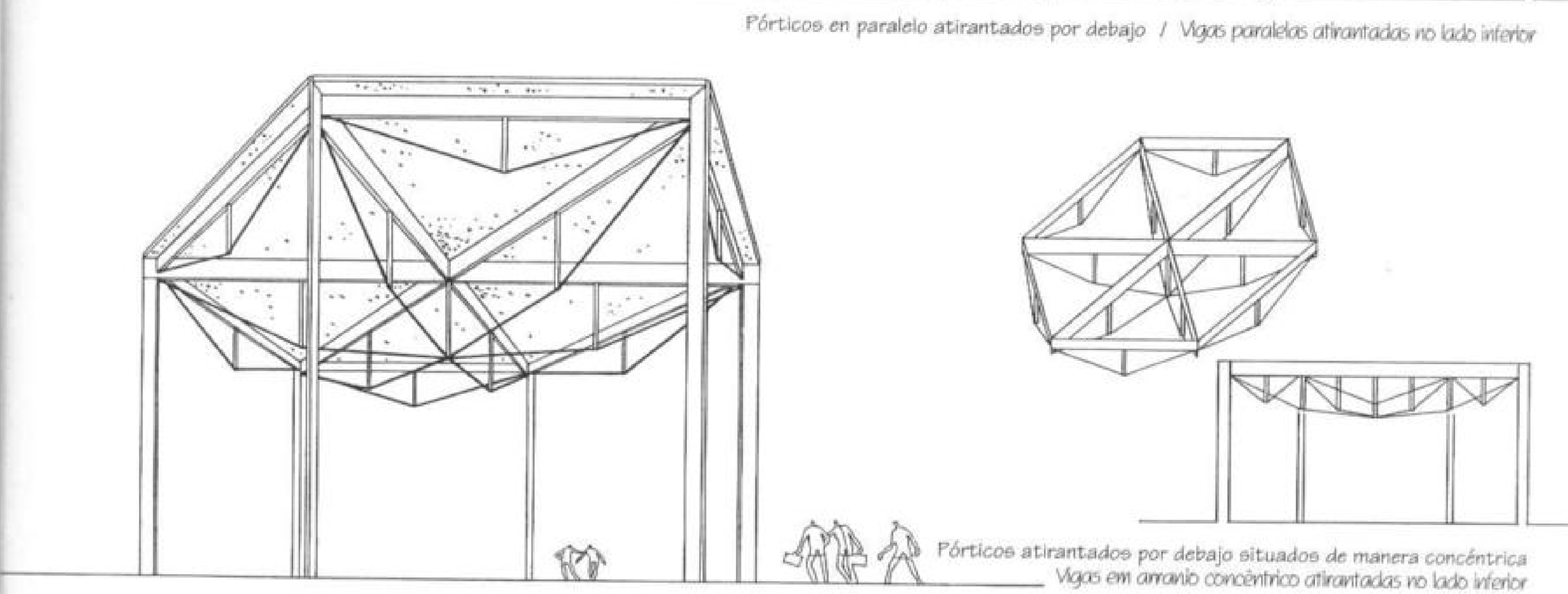
Mediante la superposición de sistemas con un comportamiento de deformación opuesto se reduce la deformación total.
Ejemplo: estructura de pórticos con máxima deformación (= esfuerzos horizontales) en los lados y una viga de celosía con máxima deformación (= flexión) en el centro.

Redução de deformação

Através da sobreposição de sistemas com comportamentos de deflexão opostos, a deformação de um sistema será detida pelo outro.
Exemplo: estrutura de pórtico rígido com deformação máxima (= cisalhamento vertical) em ambas as extremidades e viga entrelaçada com deformação máxima no meio (= flexão).

## Superposición de sistemas de estructuras de sección activa y de forma activa
## Sobreposição de sistemas estruturais de seção-ativa e forma-ativa

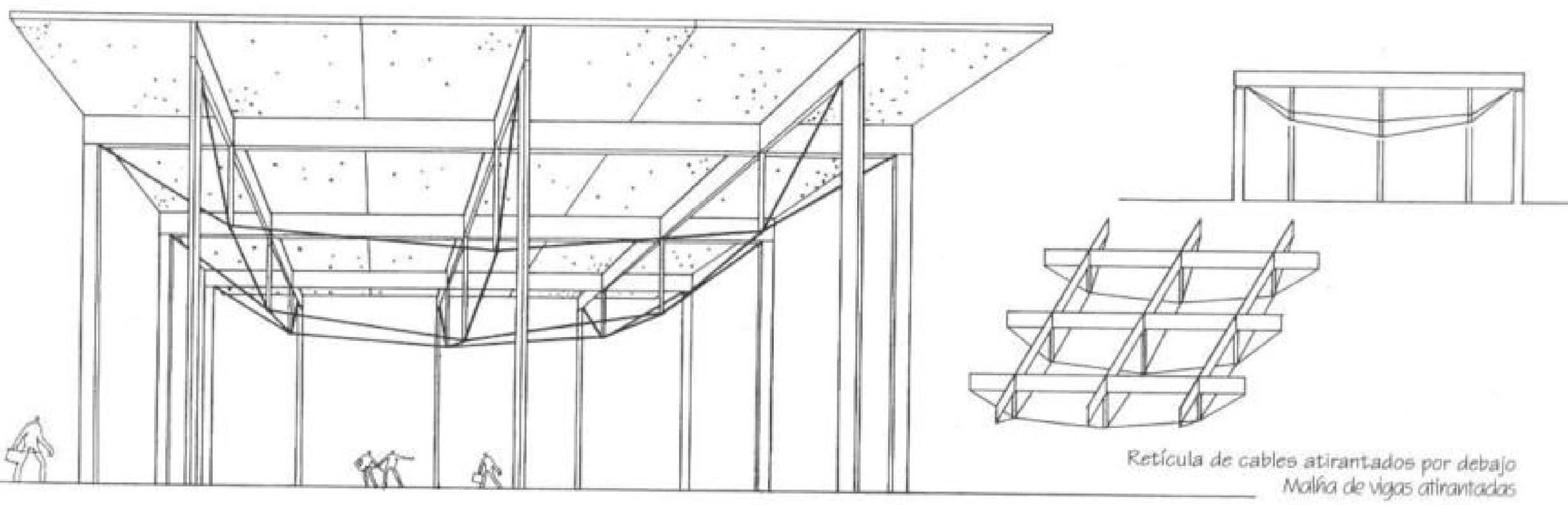
Pórticos atirantados por debajo / Vigas suportadas por cabos



Pórticos en paralelo atirantados por debajo / Vigas paralelas atirantadas no lado inferior



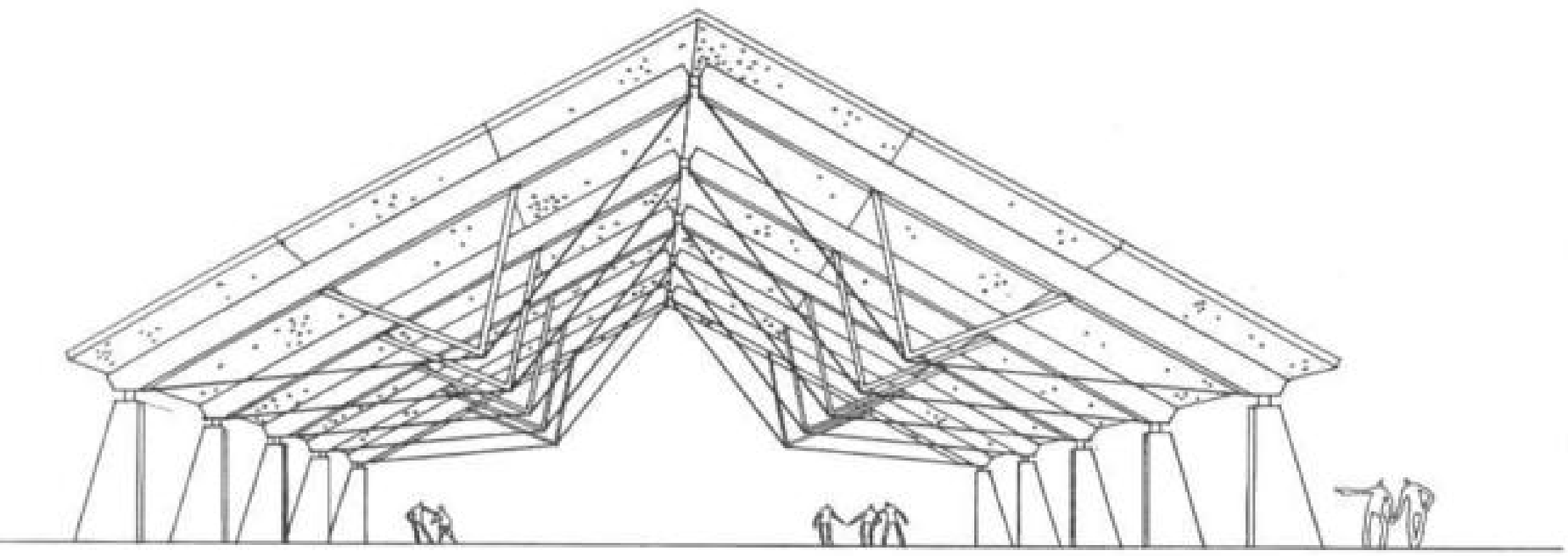
Pórticos atirantados por debajo situados de manera concéntrica
Vigas em arranjo concêntrico atirantadas no lado inferior

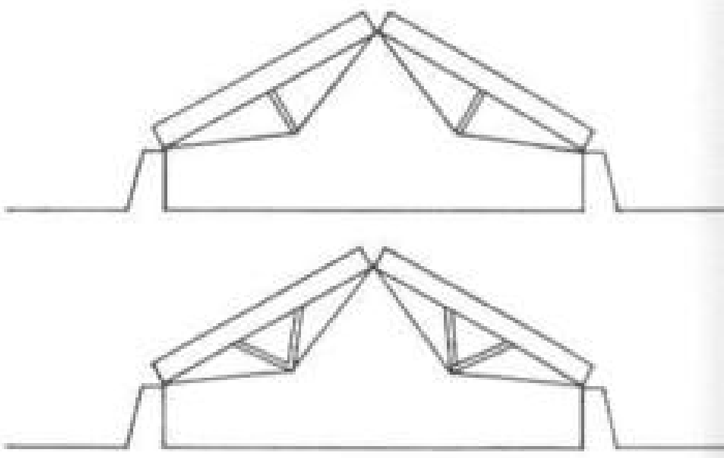


Retícula de cables atirantados por debajo
Malha de vigas atirantadas

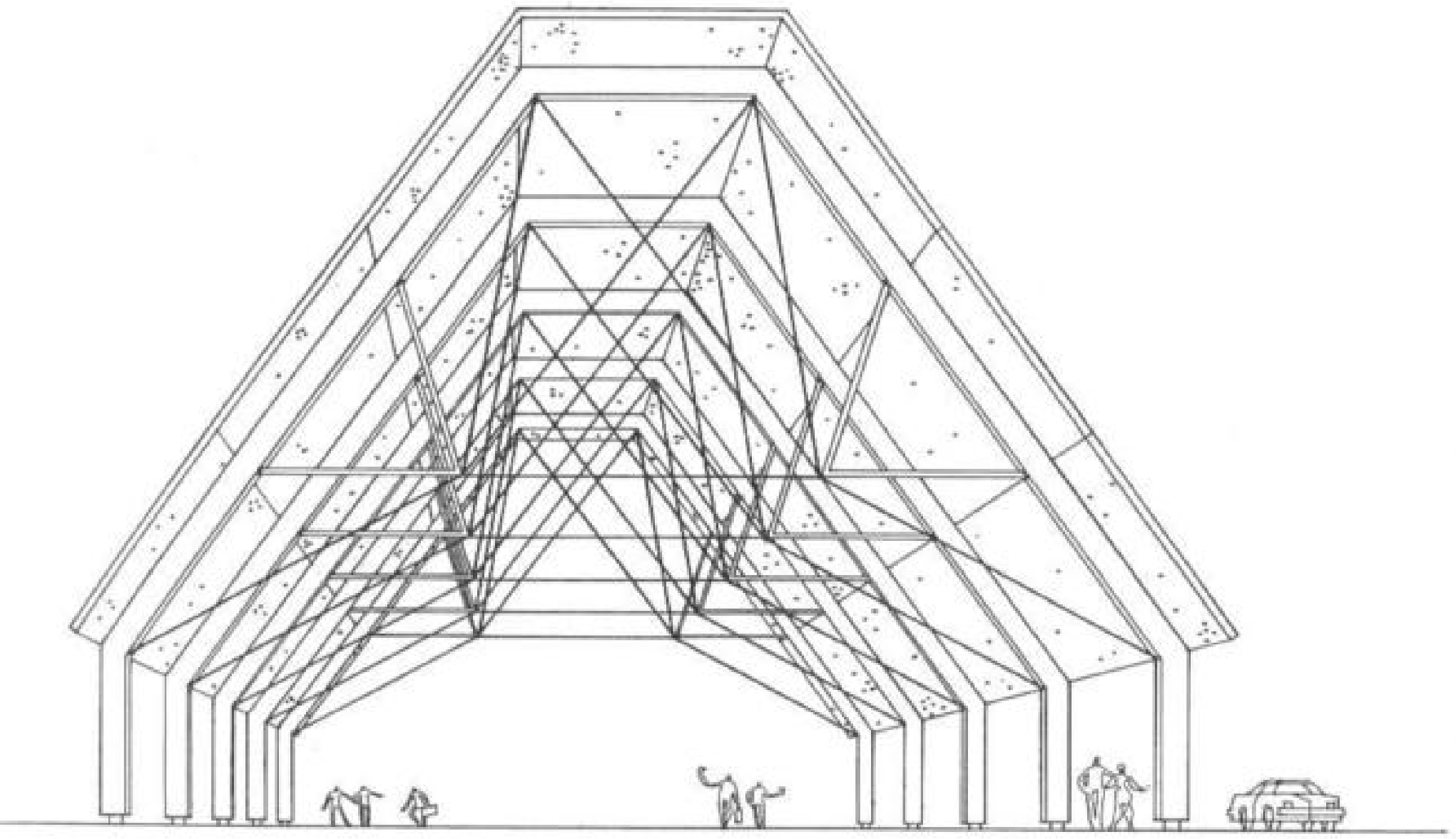
## Superposición de sistemas de estructuras de sección activa y de forma activa

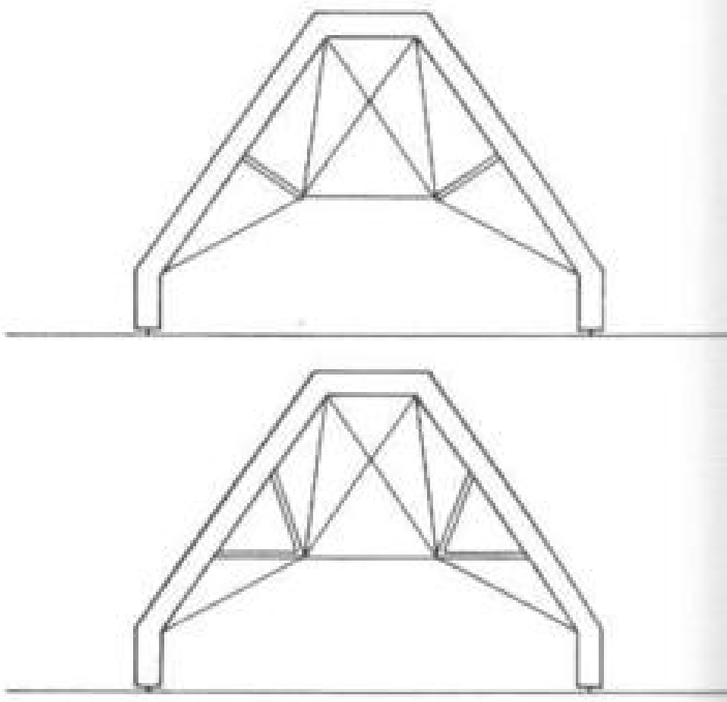
*Pórticos articulados atirantados por arriba o por debajo*



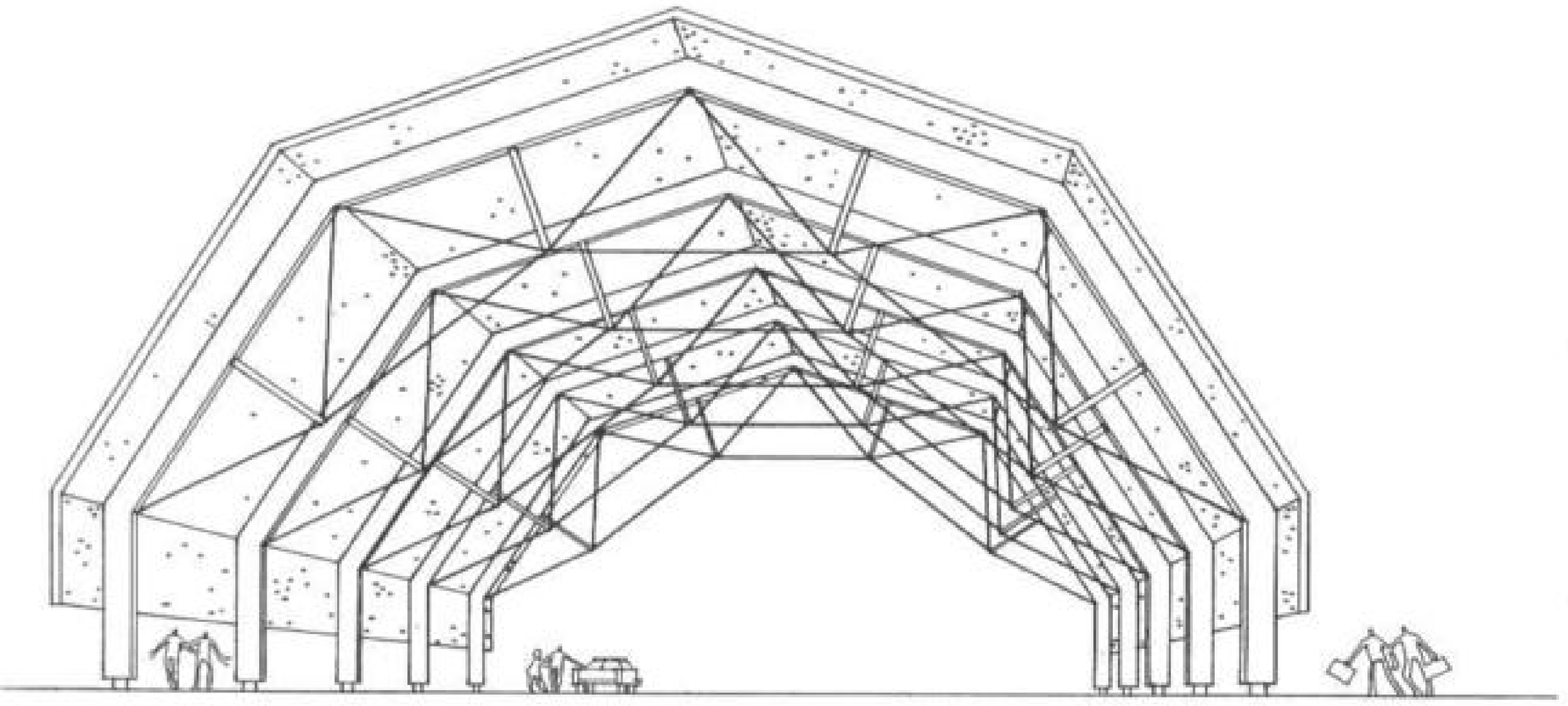


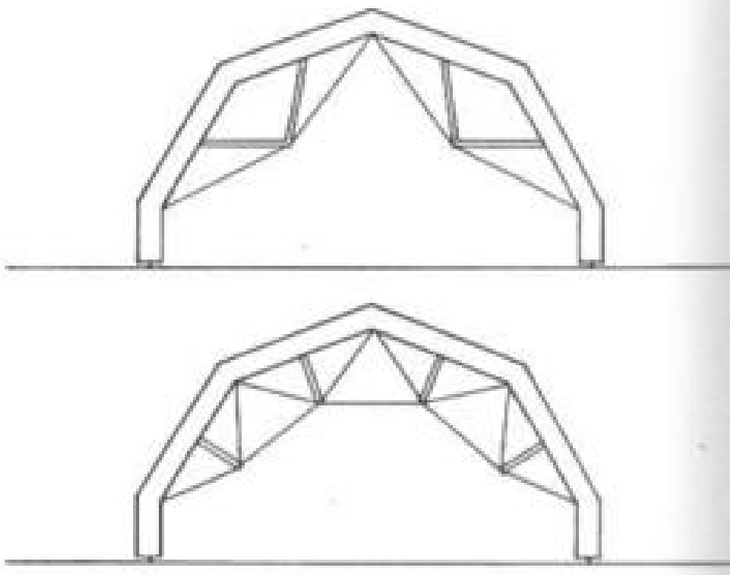
*Pórticos triarticulados atirantados por debajo*
*Pórtico triarticulado atirantado*





*Pórticos biarticulados en forma de arco y atirantado por debajo*
*Pórtico de arco biarticulado atirantado*

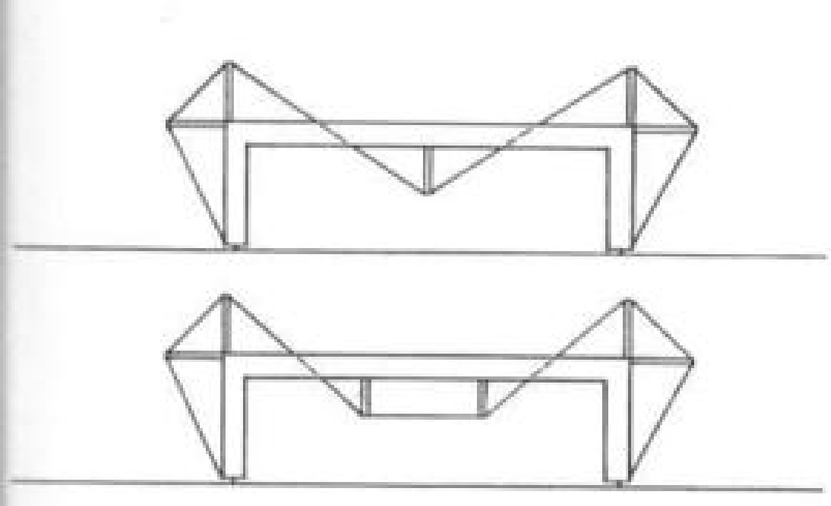




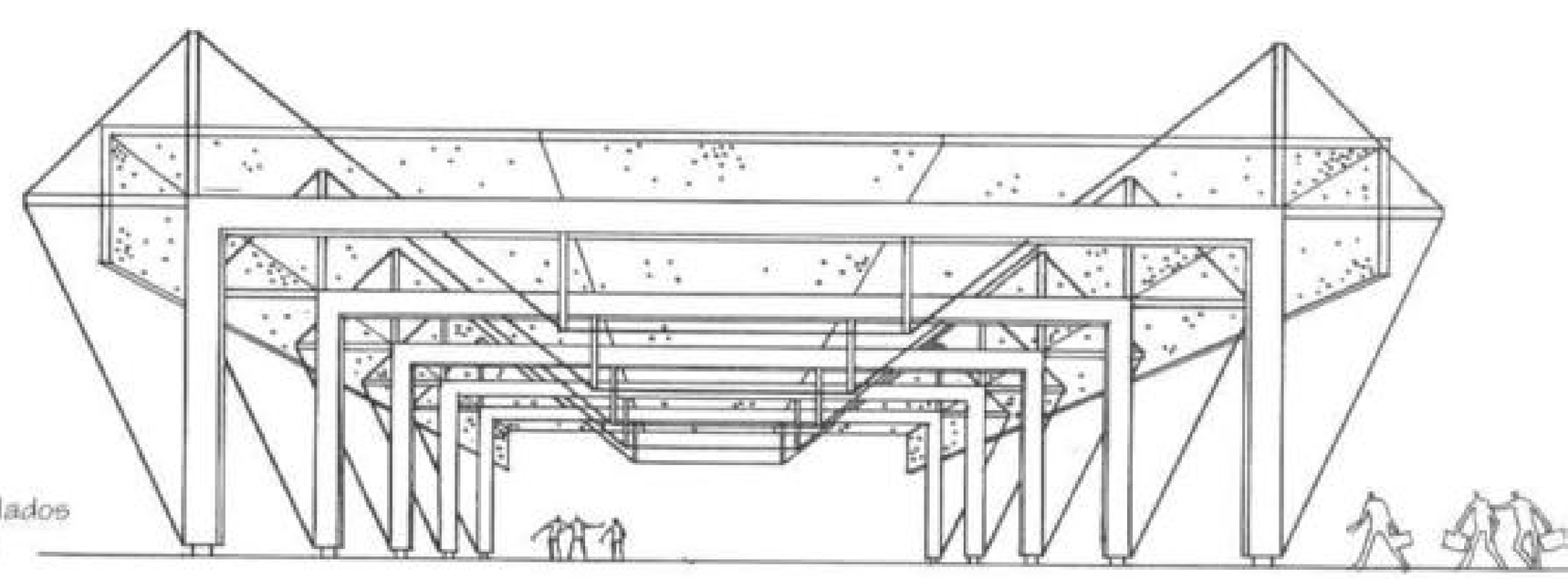
*Pórticos biarticulados de forma poligonal y atirantado por debajo*
*Pórtico poligonal biarticulado atirantado*

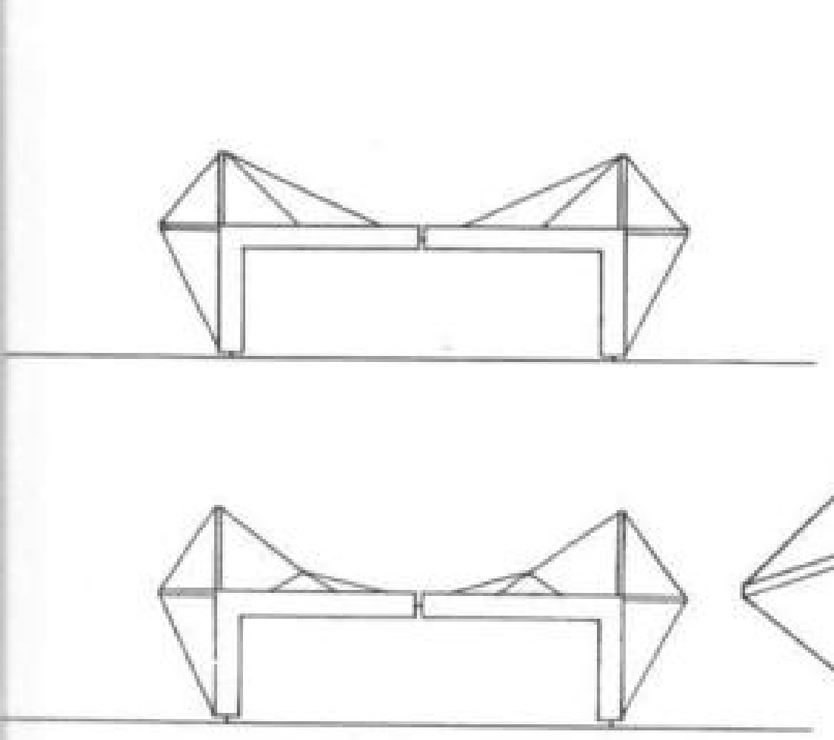
## Sobreposição de sistemas estruturais de seção-ativa e forma-ativa

Pórticos articulados suportados por cabos

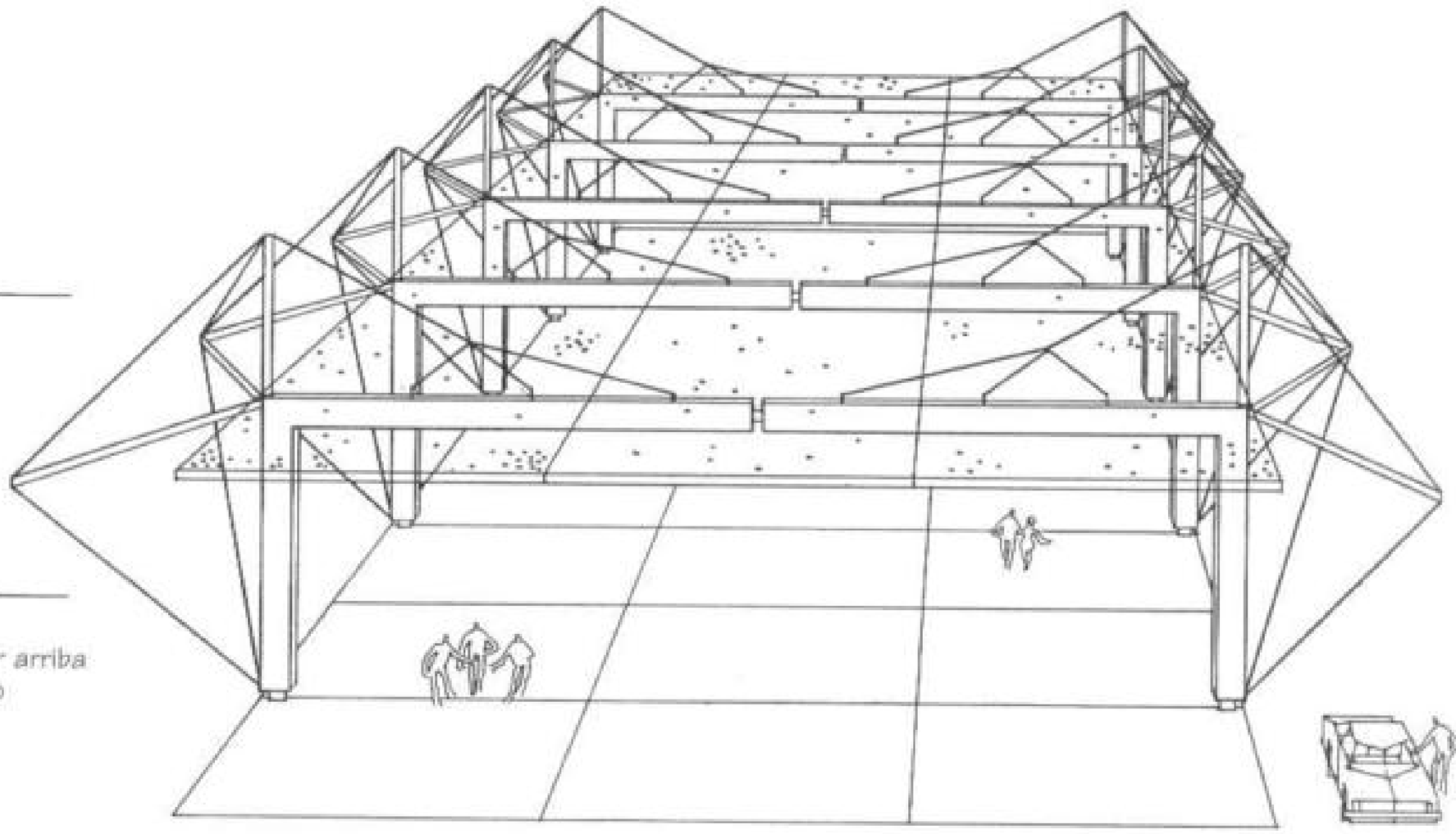


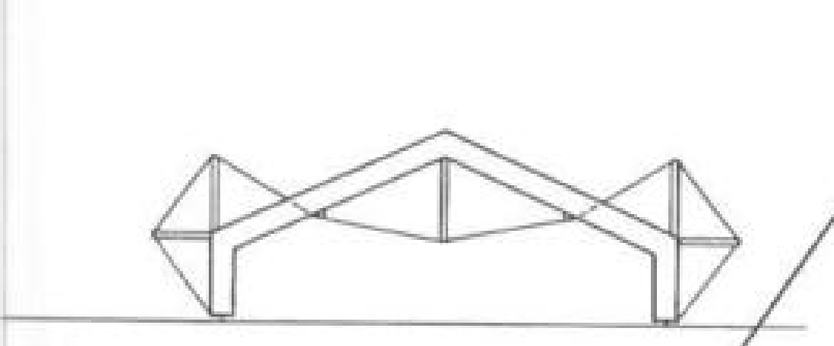
Pórticos biarticulados atirantados por ambos lados
Pórtico biarticulado com suporte bilateral de cabos



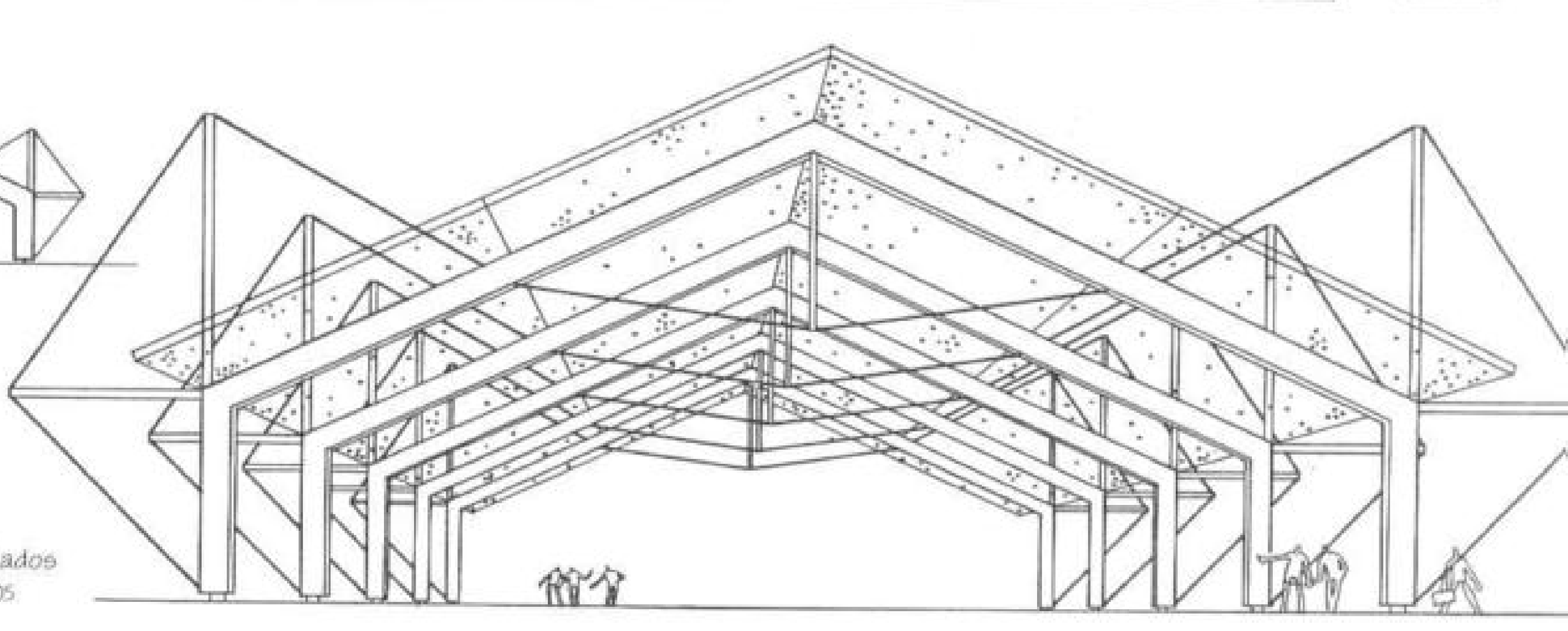


Pórticos triarticulados atirantados por arriba
Pórtico triarticulado com cabos de restrição



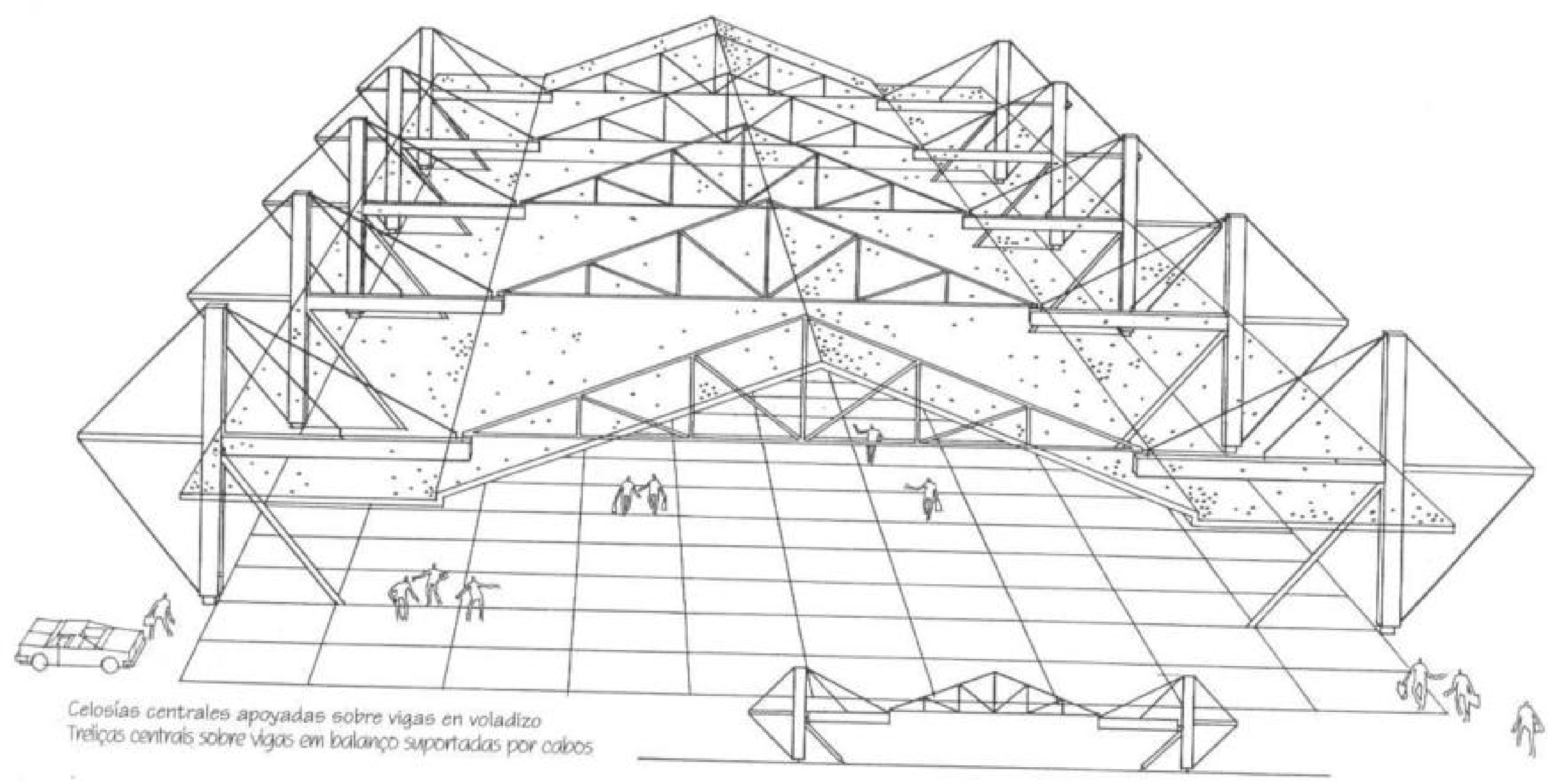


Pórticos atirantados por ambos lados
Pórtico com suporte bilateral de cabos

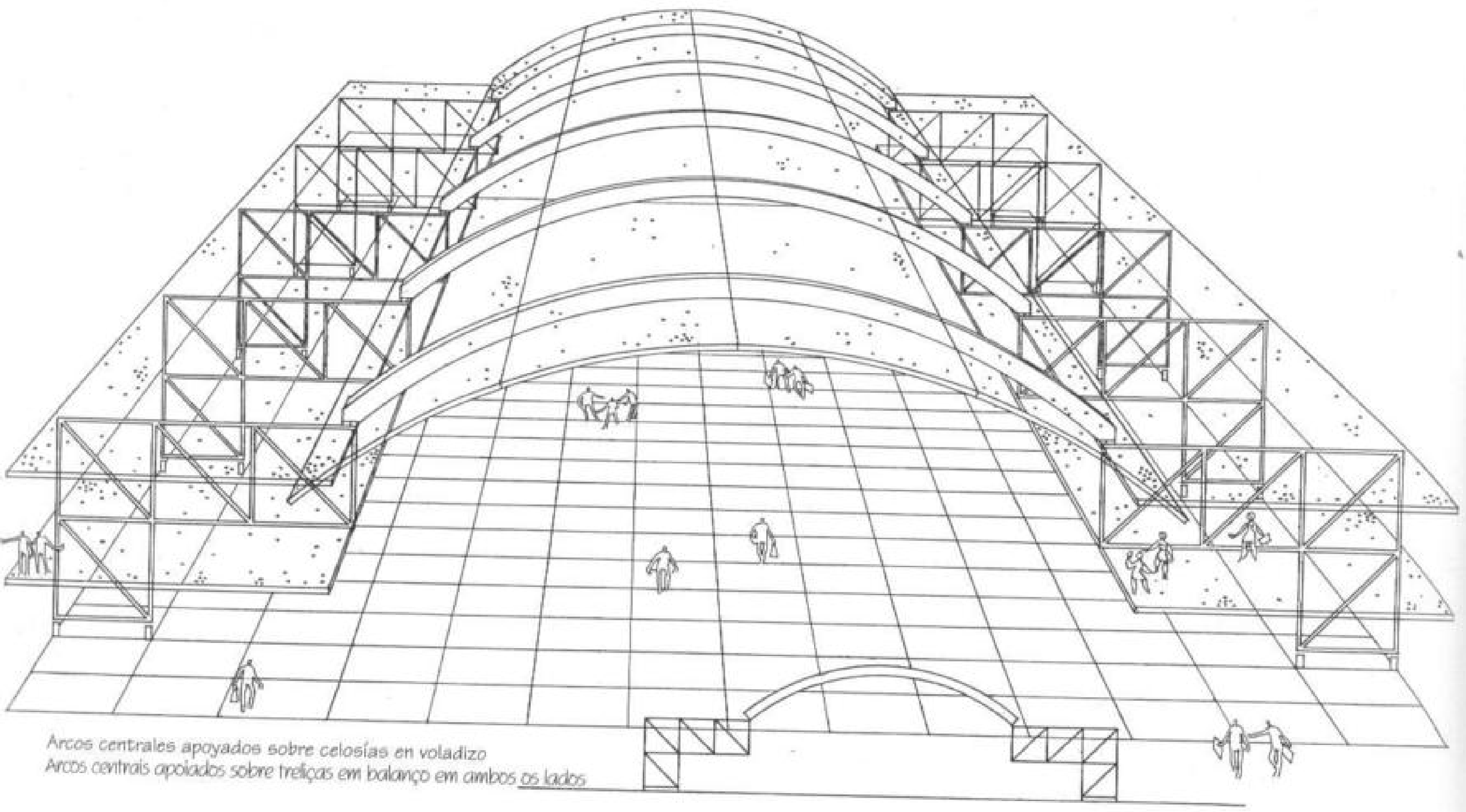


Acoplamiento de diferentes sistemas de estructuras:
sistemas de forma activa y de vector activo

Acoplamento de diferentes sistemas estruturais
Sistemas de forma-ativa e vetor-ativo



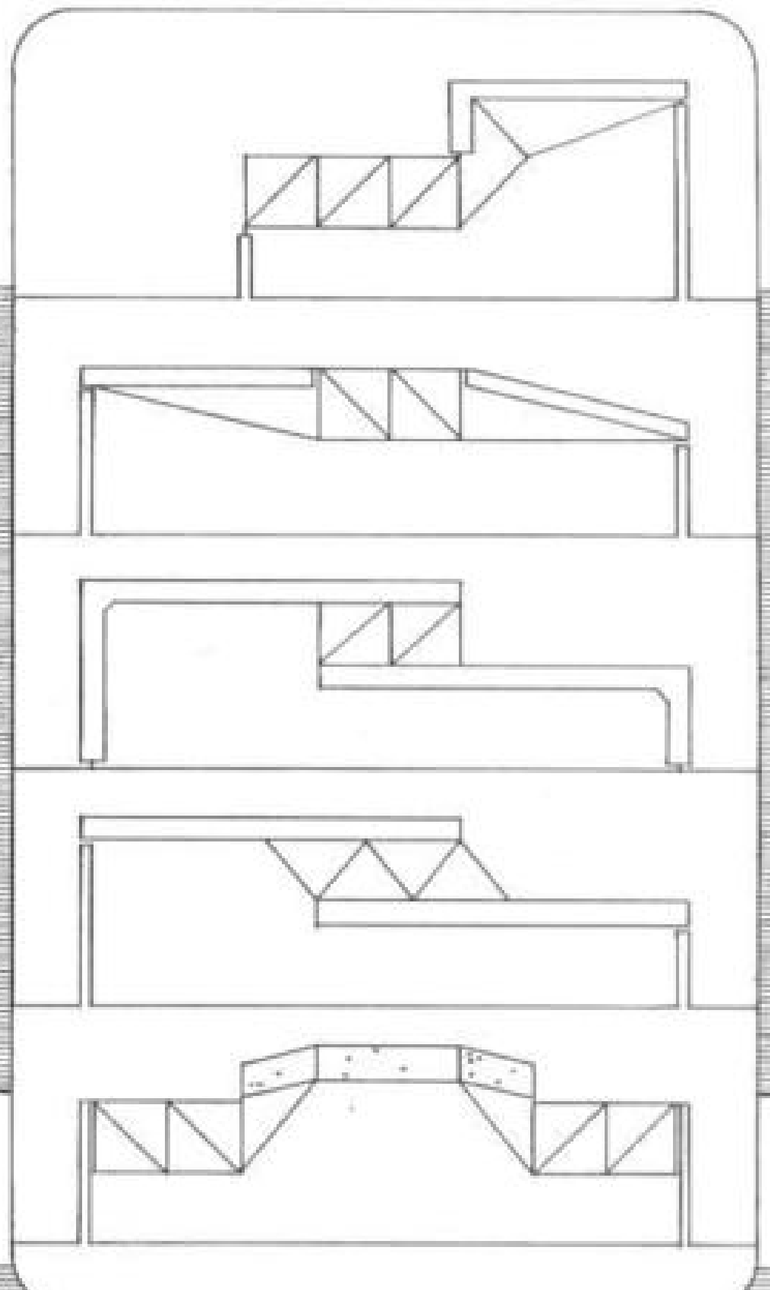
Celosías centrales apoyadas sobre vigas en voladizo
Treliças centrais sobre vigas em balanço suportadas por cabos



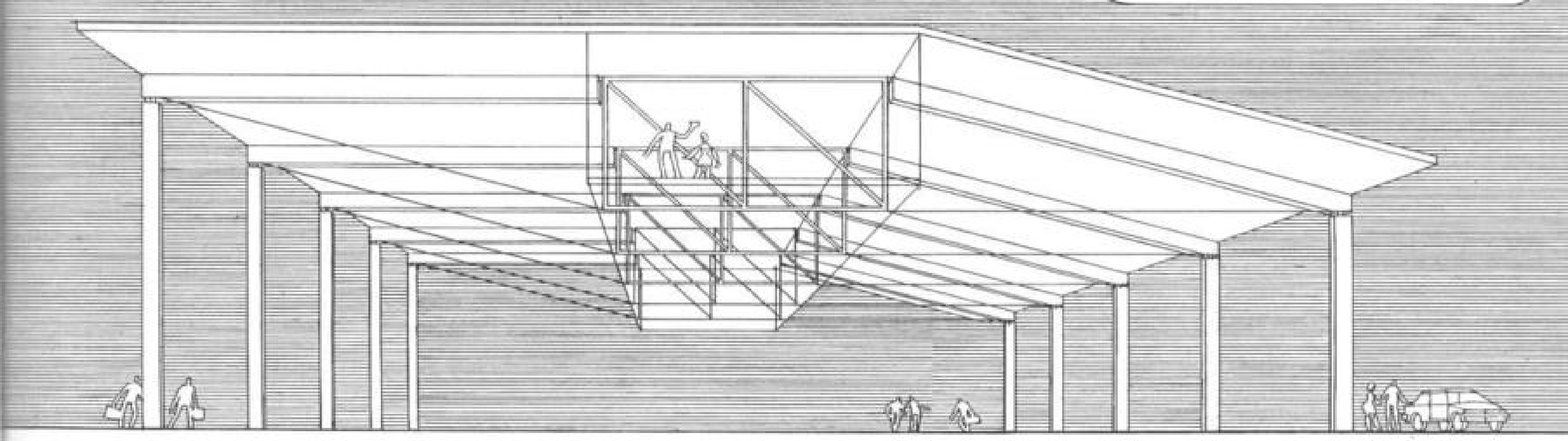
Arcos centrales apoyados sobre celosías en voladizo
Arcos centrais apoiados sobre treliças em balanço em ambos os lados

## Combinación de superposición y acoplamiento de sistemas de estructuras
## Combinação de sobreposição e acoplamento de sistemas estruturais

Celosías y pórticos atirantados por debajo

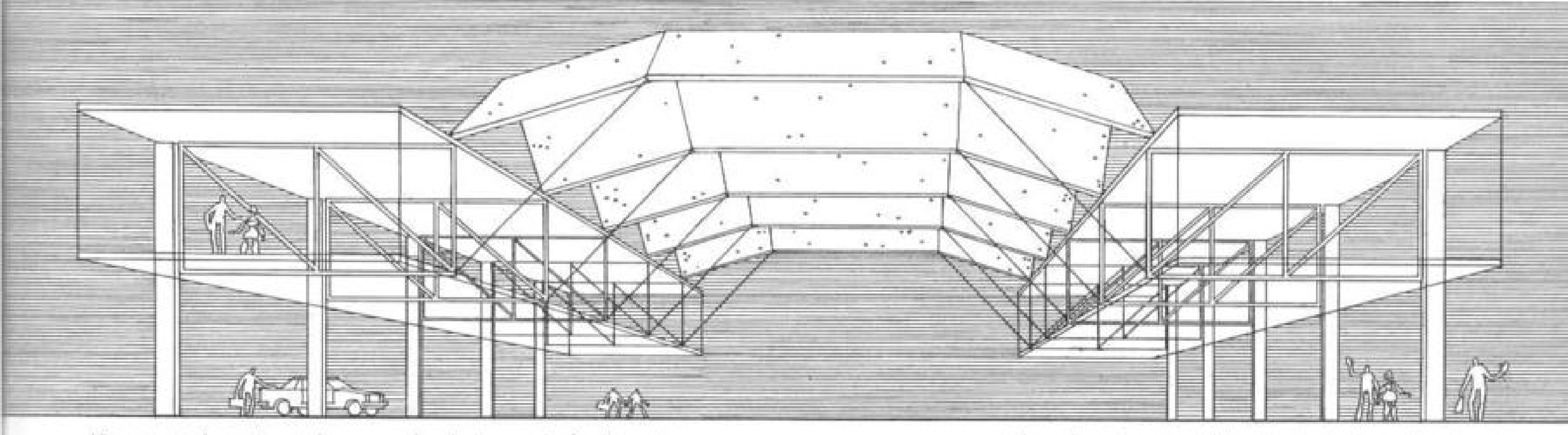


Pórtico rígido com treliças e tirantes



Celosías centrales con tirantes laterales

Treliça central conectada com combinação lateral de viga e tirantes



Vigas centrales atirantadas por ambos lados a celosías laterales

Placa de seção central dobrada atirantada a treliças laterais

# Geometría y forma de la estructura
# Geometria e forma estrutural

7

# Geometría
# Forma de la estructura
# 7

Las formas de las estructuras en arquitectura son formas constructivas técnicas que derivan de la función de las estructuras de redirigir las solicitaciones externas mediante diferentes estados de equilibrio.

Las formas de las estructuras están sometidas a las leyes de la gravedad y a la mecánica de las fuerzas: por consiguiente, se pueden calcular, comprobar y ejecutar; poseen una lógica propia; representan un lenguaje formal independiente: la geometría de las estructuras.

La geometría en el campo de las estructuras es la determinación exacta de las líneas, superficies y volúmenes que posean propiedades intrínsecas y ventajosas para transmitir las cargas. Sus formas constituyen normas absolutas en el diseño de estructuras.

Sin embargo, el origen y la causalidad de la geometría y la forma de las estructuras no puede entenderse como el resultado de la lógica de la mecánica de fuerzas. En su lugar, son resultado de los esfuerzos del hombre por comprender el espacio que le rodea, así como sus leyes y sus formas, y con ello hacerlas aprenhensibles para su pensamiento y obrar.

El fenómeno que la geometría abstracta de las líneas, superficies y volúmenes en el espacio, presenta primacías en la mecánica de las fuerzas y suministra modelos prototípicos para las formas estructurales de la arquitectura; hasta ahora apenas se ha investigado. Sin embargo, está justificada la suposición de que la imagen de las fuerzas en el espacio se asemeja a las figuras que el hombre ha ideado para delimitar un espacio, aprehender el espacio vacío y dar forma a la materia.

Las formas geométricas típicas como el círculo, el triángulo, la parábola, la esfera, el cilindro, el tetraedro, etc., introducen todas ellas, bajo la acción de fuerzas externas, un determinado flujo de cargas para alcanzar un determinado estado de equilibrio. A la inversa, la constelación específica de fuerzas origina una forma estructural correspondiente a las condiciones de sobrecarga [fuerzas externas].

La afinidad que existe entre las figuras de geometría espacial basadas en las matemáticas y las figuras de la geometría de fuerzas basadas en la mecánica, se debe a una profunda relación entre ambas, una especie de cohesión que demuestra la validez universal de la geometría y sus formas básicas para cualquier acción tridimensional.

En general, la geometría es la teoría que determina de forma exacta los lugares en el espacio, las leyes de las figuras planas y tridimensionales y su forma externa. Por consiguiente, la geometría es un instrumento indispensable para dar forma al entorno material y espacial de los edificios y sus estructuras.

Sólo a través de la geometría se pueden visualizar e identificar las suposiciones formales sobre objetos materiales, figuras espaciales o relaciones técnicas; y sólo a continuación se pueden transmitir, verificar, optimizar y finalmente ejecutarlas. La geometría es la disciplina en la que se fundamenta la función de formalización y proyectación del arquitecto y del ingeniero.

A pesar que la geometría está sometida a la lógica matemática y, por consiguiente, no permite desviaciones arbitrarias, no es un obstáculo para el diseño creativo. Al contrario: igual que la disciplina del lenguaje es el requisito previo para cualquier forma de creación literaria, también la sistematización de la geometría liberará la fantasía necesaria para aportar todo el potencial poético de las formas estructurales.

La geometría satisface tres funciones importantes, tanto para el diseño de estructuras como para el proyecto arquitectónico:

1. Como instrumento y medio para visualizar los resultados de la proyectación
   = geometría de la representación
2. Como catálogo de formas prototípicas y sistemas para desarrollar ideas sobre una estructura
   = geometría de las formas estructurales
3. Como base científica para investigar el espacio y sus leyes
   = geometría de las líneas, superficies y volúmenes.

La geometría de las formas estructurales no está vinculada especialmente a ningún sistema estructural determinado o a una categoría específica de tipos de estructura. Si bien una forma geométrica determinada puede ofrecer más posibilidades para un tipo de estructura que para otro, la geometría es una disciplina que supera las fronteras entre las categorías y es válida universalmente.

La geometría es también un lenguaje universal de la forma. Es cierto que la existencia de un canon formal rígido para el diseño es algo que se ha de cuestionar por muchos motivos, sin embargo, entendido como un principio de ordenación del espacio, servirá como agente unificador, al margen de las diferencias entre individuos, profesiones y cualificaciones.

El conocimiento de la geometría de las estructuras en la técnica alcanzará nuevas perspectivas investigando las formas de la estructura en la naturaleza. Pues estas últimas, surgidas como reacción de la materia frente a solicitaciones externas e internas bajo la ley del mínimo consumo de energía, pueden valorarse como diagramas de fuerzas hechos realidad.

La geometría de las formas estructurales como disciplina universal de diseño puede contribuir a recuperar el orden perdido del actual entorno material, es decir, realizar una función que ya tuvo una vez para los filósofos griegos de la Antigüedad en su tarea de definir un sistema de orden para delimitar formas y espacios.

El espacio y la forma son las materias elementales a través de las que se expresa y representa la arquitectura. Para delimitar espacios y formas, es decir, para dimensionarlos, modularlos, estructuralos y ponerlos en relación, es imprescindible recurrir a la geometría como instrumento científico. Poseer un amplio conocimiento de geometría es un requisito previo para proyectar tanto estructuras y edificios como el entorno en que vivimos.

As formas estruturais em arquitetura são formas construtivas técnicas deduzidas da função das estruturas para redistribuir as forças em outras direções por meio de diferentes estados de equilíbrio.

As formas estruturais estão sujeitas às leis da gravidade e da mecânica de forças. Portanto podem ser calculadas, verificadas e ordenadas, pois elas têm a sua própria lógica e elas constituem um vocabulário de desenho: geometria de formas estruturais.

A geometria no campo das formas estruturais é a definição exata de linhas, planos e sólidos que ordenam as características típicas e positivas de redistribuição de forças. A sua configuração formal constitui as normas absolutas no projeto de estruturas arquitetônicas.

A geometria das formas estruturais técnicas não pode ser baseada na lógica das forças mecânicas, apenas por sua origem e causalidade. Em lugar disso, ela é conseqüência do constante esforço do homem em compreender o espaço em seu mundo, as suas formas e seu ordenamento, e então fazê-lo acessível para seu pensamento e atuação.

A característica de que a geometria abstrata de linhas, planos e sólidos no espaço oferece vantagens nas mecânicas de forças e proporciona formas de estruturas prototípicas para arquitetura continua consideravelmente inexplorada. Contudo, admite-se com razão que as imagens de forças no espaço são iguais ou similares às figuras que o homem tenha concebido para tornar o espaço vazio acessível e compreensível para ele mesmo e para dar forma à matéria segundo seu desejo.

As figuras geométricas típicas são o círculo, esfera, cilindro, tetraedro, etc. Todas induzem, baixo a ação de forças externas, a um certo fluxo de forças e formam uma imagem específica de equilíbrio de forças. Reciprocamente, a constelação particular de forças gera uma forma geométrica correspondente à condição mecânica.

A afinidade existente entre as figuras da geometria espacial, com as suas raízes matemáticas por um lado, e as figuras estruturais de força geométrica, com sua origem mecânica por outro, descreve uma profunda associação entre as duas, um tipo de coesão que confirma a validez universal da geometria e suas figuras elementares para qualquer esforço tridimensional.

A geometria é, de forma geral, a teoria sobre a exata determinação de lugares no espaço e sobre o ordenamento de figuras planas e espaciais e suas formas características. Assim, a geometria é um instrumento indispensável para a modelagem do materiais e seu ambiente espacial, os edifícios e suas estruturas.

Somente através da geometria, as concepções imaginárias de formas podem visualizar os objetos materiais, imagens espaciais ou construções técnicas; e somente então elas podem ser comunicadas, verificadas, otimizadas e finalmente implementadas. A geometria é a matéria básica no projeto e nas operações que o arquiteto e o engenheiro fazem para dar forma.

A geometria, por estar sujeita a uma lógica matemática e por não permitir desviações deliberadas, não é entretanto um obstáculo para o projeto criativo. Ao contrário, assim como as disciplinas de linguagem são requisito para qualquer forma na literatura criativa, também será sistemática da geometria verdadeiramente livre, a fantasia para descobrir o potencial poético nas formas estruturais.

No desenho estrutural, como no desenho arquitetônico em geral, a geometria desempenha três importantes funções:

1. instrumento e meio para fazer visível os resultados de um projeto
   = geometria descritiva
2. catálogo de formas prototípicas e sistemas de geração de idéias de estruturas
   = geometria de formas estruturais
3. base científica para a exploração do espaço e dos seus princípios
   = geometria de linhas, planos e sólidos

A geometria das formas estruturais não está limitada a um sistema de estrutura particular ou a um tipo específico de estrutura. Embora uma certa figura geométrica possa mostrar mais possibilidades para um tipo de estrutura que para outro, a geometria é uma disciplina que transgride os limites de categorias e alcança uma universalidade.

A geometria também é uma linguagem universal da forma. Em realidade, um cânone formal rígido para o desenho é um conceito questionável por muitas razões, porém se concebido como o princípio de ordenação do espaço, ele funcionará como um agente unificador que supera as diferenças individuais, profissionais e qualitativas.

O conhecimento da geometria das formas estruturais técnicas ganhará uma perspectiva adicional através dos estudos de formas estruturais da natureza. Finalmente, chegando a ser uma resposta material ao impacto de forças externas e internas sob a lei da natureza de mínimo gasto de energia, e ser considerado como a materialização do diagrama de forças.

A geometria de formas estruturais como disciplina universal para o projeto pode contribuir ao restabelecimento da ordem no ambiente contemporâneo, isto é, ela pode desenvolver uma função que desempenhava para os filósofos gregos na antiguidade em seu empenho para definir um sistema de ordenação para a exploração da forma e do espaço.

O espaço e a forma são os problemas básicos através dos quais a arquitetura expressa-se e representa-se a si mesma. A exploração do espaço e da forma, a sua determinação, a sua modulação, a sua articulação e os seus limites requerem a geometria como instrumento científico. O profundo conhecimento da geomatria é um pré-requisito para a modelação de estruturas e edifícios.

# Geometría
# Forma de la estructura 7

## Las 3 funciones de la geometría descriptiva en el diseño de estructuras

La geometría –según una definición simplificada– es la teoría para determinar de manera matemática, es decir exacta, los puntos en el espacio y las leyes de las formas bi y tridimensionales.
Al diseñar estructuras, la geometría cumple funciones fundamentales y decisivas. El potencial formal de estas funciones todavía no se ha aprovechado en toda su amplitud.

## As 3 funções da geometria descritiva no projeto estrutural

*Geometria -em uma definição simplificada- é uma teoria da locação matemática, isto é exata, de pontos no espaço e da ordem racional das configurações e características da forma plana e espacial.*
*No desenho de estruturas a geometria ocupa funções essenciais e determinantes. O potencial criativo dessas funções apesar disso, ainda permanece pouco utilizado.*

Funciones de la geometría en el diseño de estructuras

Funções da geometria no projeto de estruturas

### 1

Medio para representar los contenidos del diseño de una estructura

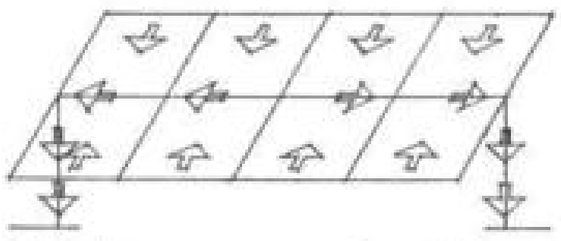
*Meio de representação dos conteúdos do projeto estrutural*

Idea arquitectónica
*Imagem arquitetônica*

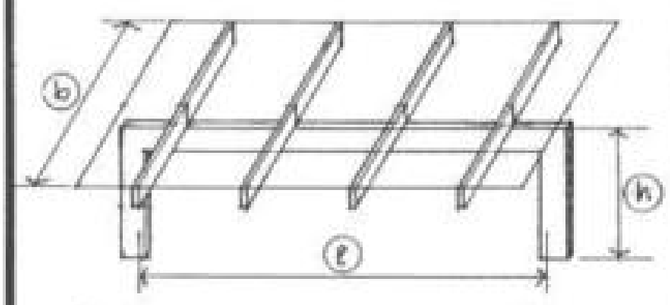
Flujo de fuerzas
Sistema de equilibrio
*Fluxo de forças*
*Sistema de equilíbrio*

Sistema estructural
Estructura
*Sistema estrutural*
*Estrutura*

Elemento estructural
Componente de la estructura
*Componente estrutural*
*Membro estrutural*



Flujo de cargas — *Fluxo de forças*




Sistema estructural — *Sistema estrutural*

La geometría es el verdadero medio para materializar los proyectos de estructuras en cada una de sus etapas
*A geometria é o verdadeiro meio que materializa o projeto de estruturas em seus diferentes estágios*

### 2

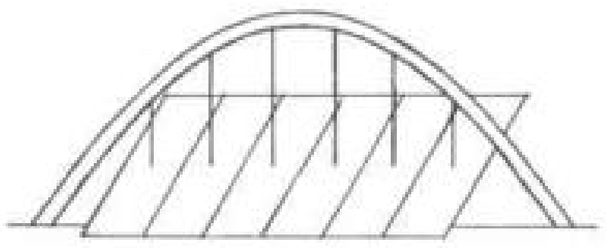
Directrices para la aplicación de formas estructurales lógicas

*Linhas-guia para a aplicação de formas estruturais lógicas*

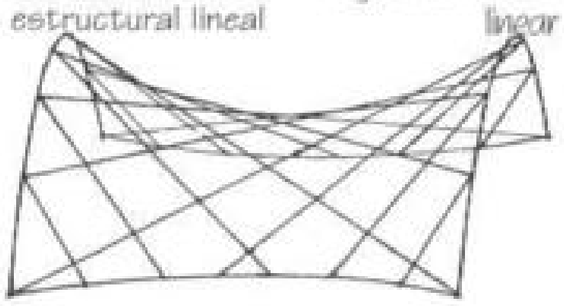
Formas estructurales lineales
*Figuras estruturais lineares*

Formas estructurales bidimensionales
*Figuras estruturais planos*

Formas estructurales tridimensionales
*Figuras estruturais espaciais*



Forma estructural lineal — *Figura estrutural linear*



Formas estructurales bidimensionales — *Figura estrutural plana*

La geometría se manifiesta mediante formas lógicas, que se asemejan a los diagramas del flujo "natural" de cargas
*A geometria manifesta-se em figuras lógicas iguais aos diagramas de fluxo "natural" de forças*

### 3

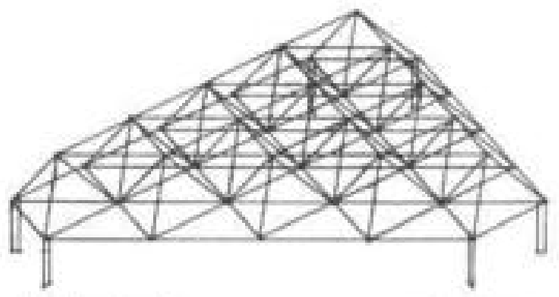
Ciencia para medir y controlar las dimensiones de una estructura

*Ciência de controle e determinação de dimensões de estruturas*

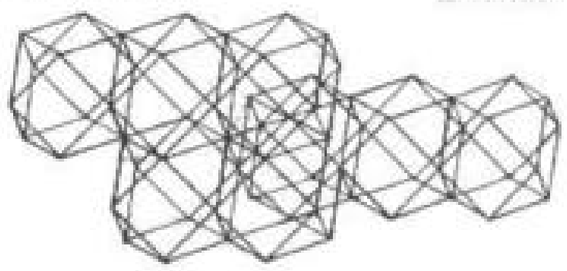
Estructuración de superficies
Envolvente del espacio / planta
*Estruturas de planos: delimitação espacial, planta*

Articulación estructural:
Volumen estructural
*Articulação estrutural: corpo estrutural*

Delimitación del espacio:
Volumen funcional
*Manipulação do espaço: volume funcional*



Articulación estructural — *Articulação estrutural*



Delimitación del espacio — *Articulação espacial*

La geometría es la base y el instrumento científico para diseñar y desarrollar formas estructurales
*A geometria é a base científica e o instrumento de desenho e desenvolvimento de formas estruturais*

## Clasificación geométrica de las estructuras

Relación entre la geometría y la función portante de los diferentes elementos (referido aquí, sobre todo, a las cargas por gravedad)

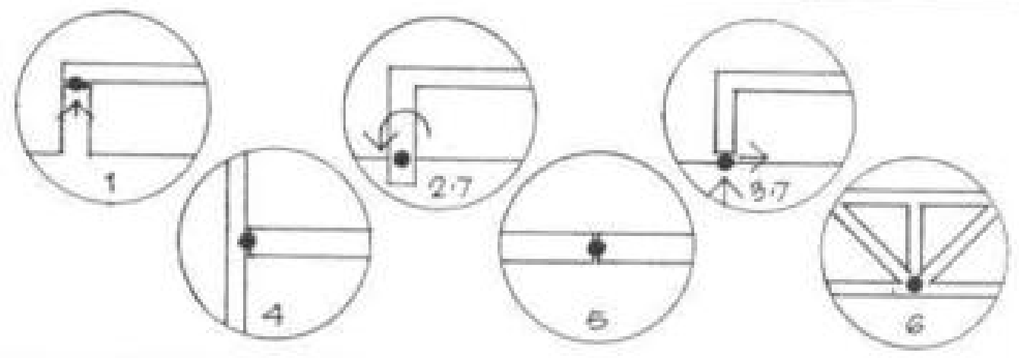
Las ideas, maquetas o proyectos de formas estructurales surgen con figuras de líneas y superficies en el espacio. Por lo tanto, las formas estructurales están formadas fundamentalmente a partir de figuras geométricas elementales.
A cada figura geométrica elemental, según cual sea su posición en el espacio, le corresponde un determinado potencial para satisfacer funciones portantes y constructivas.

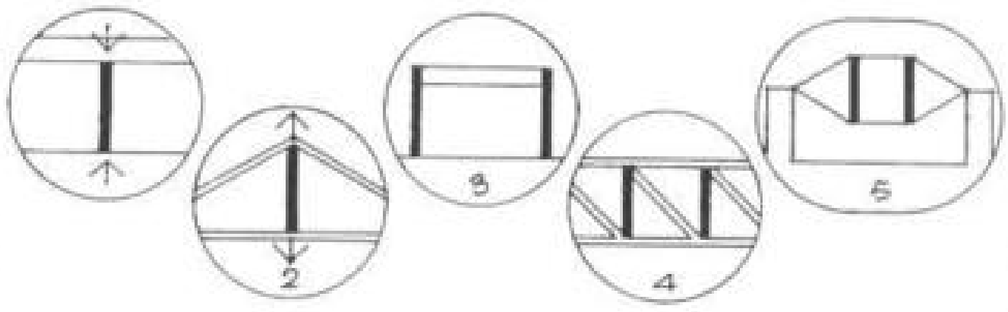
## Classificação geométrica dos componentes estruturais

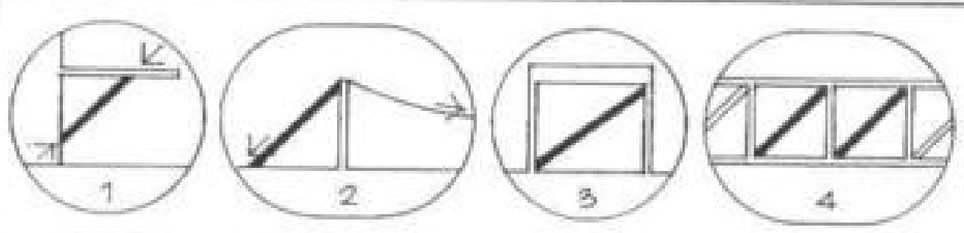
Relação entre a geometria e a função estrutural de componentes individuais (essencialmente em referência às cargas gravitacionais)

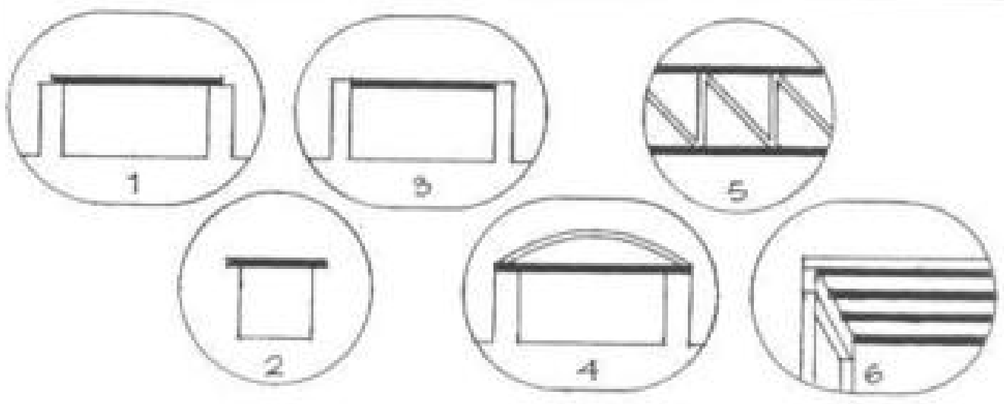
As formas estruturais em concepção, modelo ou desenho, originam configurações de linhas e planos no espaço. As formas estruturais, portanto, estão basicamente compostas por figuras elementares da geometria.
Para cada figura elementar da geometria, dependendo da localização e da posição no espaço, definem-se potencialidades espaciais de funções estruturais e construtivas.

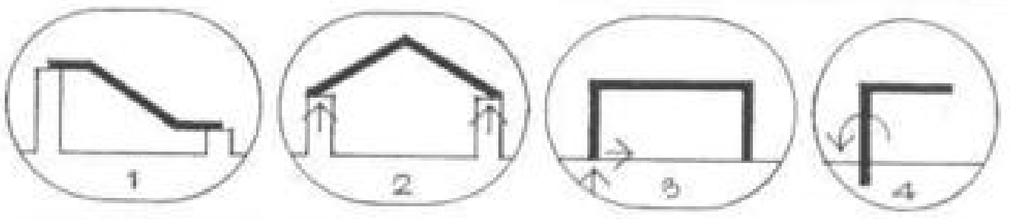
| Geometría<br>Geometria | Posición / figura<br>Posição / Figura | | | Elemento estructural / Componente constructivo<br>Componentes estruturais / Componentes construtivos | |
|---|---|---|---|---|---|
| PUNTO<br>(1)<br>PONTO | | • | 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6<br>7 | soporte<br>empotramiento<br>rótula<br>unión<br>a testa<br>nudo<br>base, pie | apoio, suporte<br>engaste<br>articulação, rótula<br>conexão, união<br>junta, união<br>nó<br>base |
| LÍNEA<br>recta<br>(2)<br>LINHA<br>reta | vertical<br>vertical | \| | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | pilar, columna<br>elemento suspendido<br>pie derecho (de pórtico)<br>barra vertical<br>puntal | apoio, coluna<br>elemento de suspensão<br>perna (pórtico)<br>vara e barra verticais<br>barra dispersora |
| | inclinada<br>inclinada | / | 1<br>2<br>3<br>4 | tornapuntas<br>cable de retención<br>rigidización<br>barra diagonal | estrutura de reforço<br>cabo de restrição<br>reforço<br>barra diagonal |
| | horizontal<br>horizontal | — | 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 | viga, jácena<br>dintel<br>travesaño<br>tirante<br>cordón superior / inferior<br>nervios (paralelos) | viga<br>dintel<br>viga de pórtico<br>tirante<br>corda de topo / inferior<br>vigueta (paralela) |
| LÍNEA<br>compleja<br>(3)<br>LINHA<br>complexa | en ángulo<br>dobrada | L | 1<br>2<br>3<br>4 | viga doblada<br>viga de hastial<br>pórtico<br>pilar con voladizo | viga dobrada<br>viga seção duas águas<br>pórtico rígido, dobrado<br>coluna com balanço |
| | curva<br>curvada | ⌒ | 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6<br>7 | viga curva<br>dintel<br>arco funicular<br>cable portante<br>cable estabilizado<br>cordón superior / inferior<br>anillo perimetral | viga curvada<br>dintel segmentado<br>arco (funicular)<br>cabo de carga<br>cabo de estabilização<br>corda superior/inferior<br>tirante, base anular |

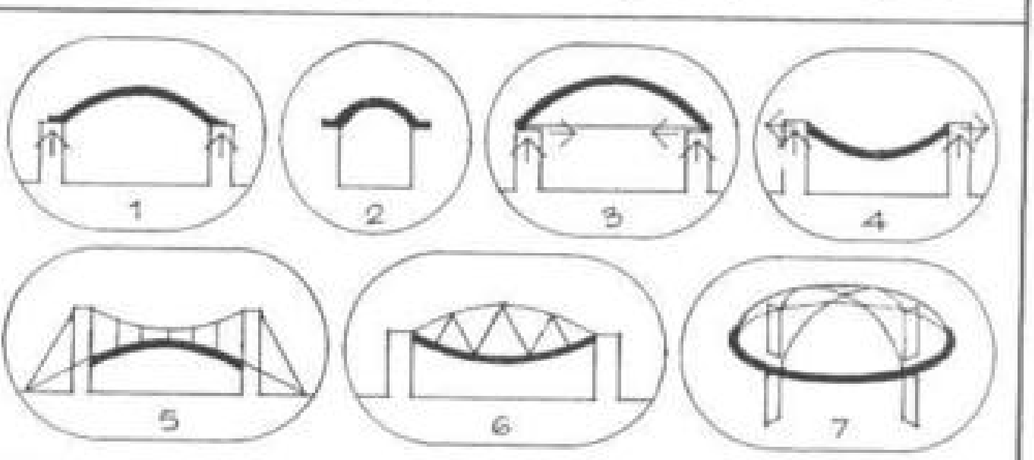


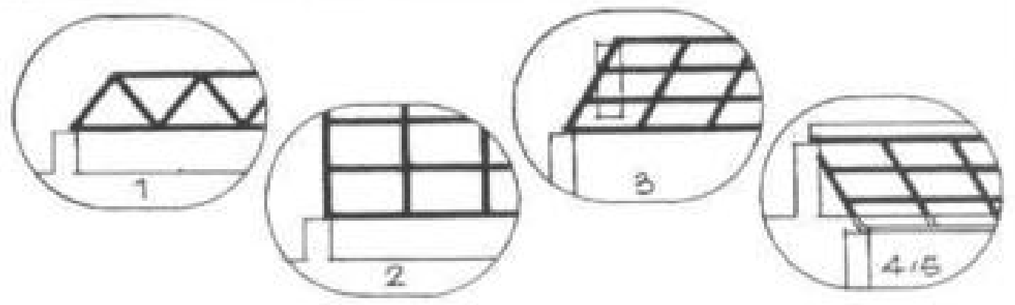
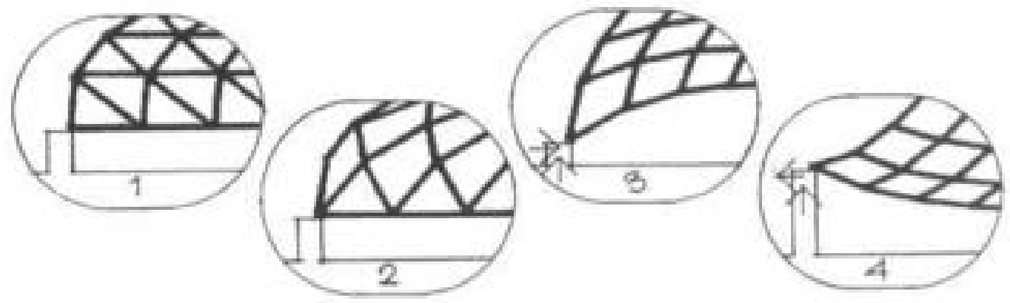
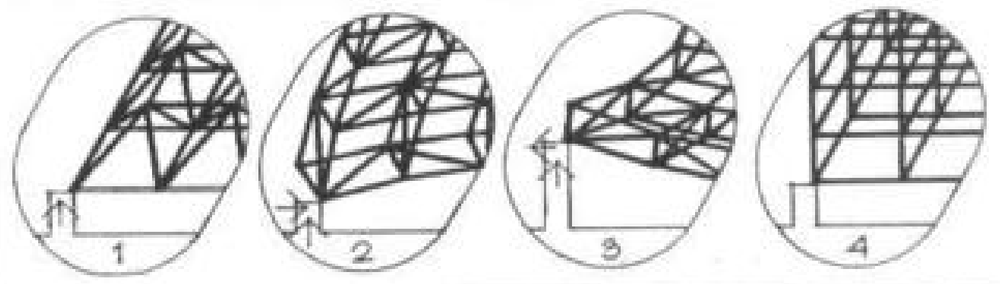
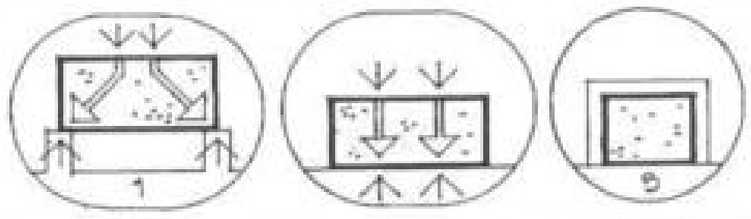
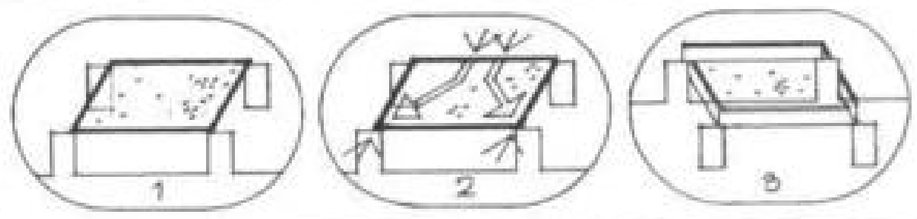
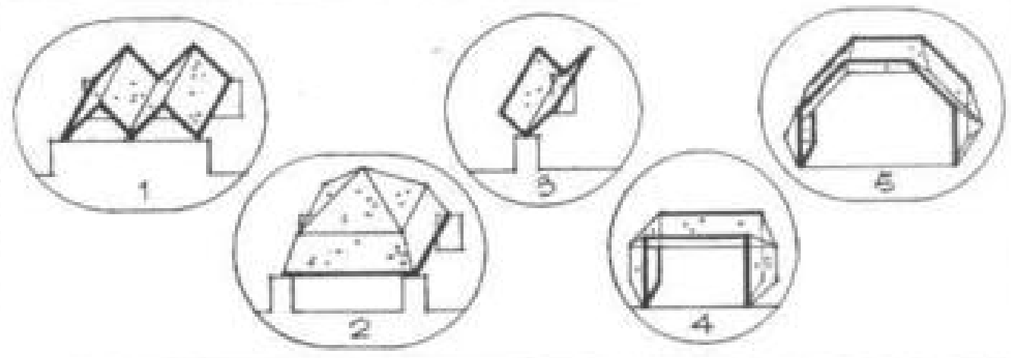
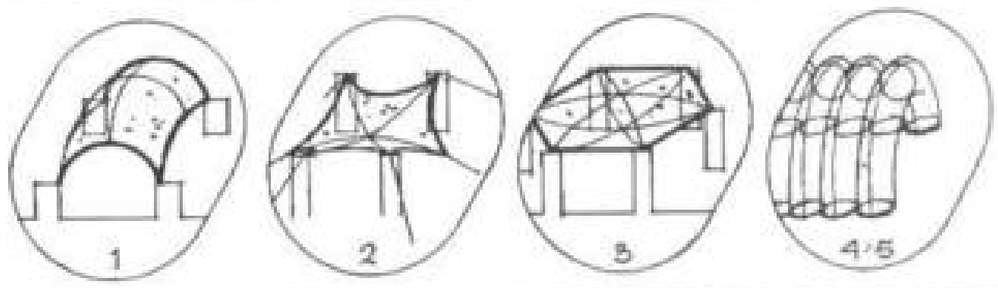
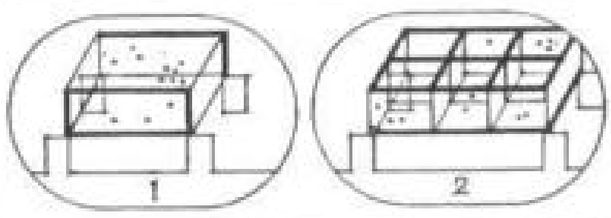



| Geometría<br>*Geometria* | Posición / figura<br>*Posição / Figura* | | | Elemento estructural / Componente constructivo<br>*Componentes estruturais / Componentes construtivos* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Intersección de LÍNEA<br>④<br>*Interseção de LINHA* | plana<br>*reta* | + | 1 | celosía | treliça |  |
| | | | 2 | pórticos varios vanos | *pórtico múltiplo* | |
| | | | 3 | retícula de vigas | *malha de vigas* | |
| | | | 4 | casetones | *cofres* | |
| | | | 5 | nervios perpendiculares | *viguetas cruzadas* | |
| | curva<br>*curvada* | + | 1 | celosía | treliça |  |
| | | | 2 | retícula de lamas | *malha lamelar* | |
| | | | 3 | celosía (apoyada) | *estrutura (de empuxo)* | |
| | | | 4 | malla (suspendida) | *malha (em suspensão)* | |
| | espacial<br>*espacial* | + | 1 | malla espacial | *treliça espacial* |  |
| | | | 2 | celosía espacial | *estrutura espacial* | |
| | | | 3 | red espacial | *malha espacial* | |
| | | | 4 | portico biaxial | *pórtico biaxial* | |
| SUPERFICIE<br>plana<br>⑤<br>SUPERFICIE<br>*plana* | vertical<br>*vertical* | | 1 | lámina (portante) | placa estrutural |  |
| | | | 2 | muro portante | *parede estrutural* | |
| | | | 3 | rigidización | *painel de reforço* | |
| | horizontal<br>*horizontal* | | 1 | lámina (portante) | *lale estrutural* |  |
| | | | 2 | lámina horizontal | *placa de viga horizontal* | |
| | | | 3 | lamina rigidizadora | *placa de reforço* | |
| | en ángulo<br>*dobrado* | | 1 | lám. plegadas (prismáticas) | *estr. prismática dobrada* |  |
| | | | 2 | lám. plegadas (piramidales) | *estr. piramidal dobrada* | |
| | | | 3 | viga de láminas dobladas | *placa de viga dobrada* | |
| | | | 4 | pórtico de láminas dobladas | *pórtico de placa dobrada* | |
| | | | 5 | arco de láminas acodadas | *arco de placa dobrada* | |
| SUPERFICIE<br>*compleja*<br>⑥<br>SUPERFICIE<br>*complexa* | curvatura<br>sencilla<br>*curvatura*<br>*simples* | | 1 | membrana | casca | |
| | | | 2 | tubo / tubo neumático | *tubo / tubo pneumático* | |
| | | | 3 | bóveda | *abobadado* | |
| | | | 4 | nave neumática | *nave pneumática* | |
| | curvatura<br>*doble*<br>*curvatura*<br>*dupla* | | 1 | membrana | *casca* |  |
| | | | 2 | membrana en tienda | *membrana em tenda* | |
| | | | 3 | colchón neumático | *colchão pneumático* | |
| | | | 4 | tubo neumático | *tubo pneumático* | |
| | | | 5 | tubos | *cascas tubulares* | |
| | combinada<br>*combinada* | | 1 | pórtico-caja | *armação em caixa* |  |
| | | | 2 | retícula de láminas | *malha de placas* | |

# 7 Geometria
# Forma estrutural



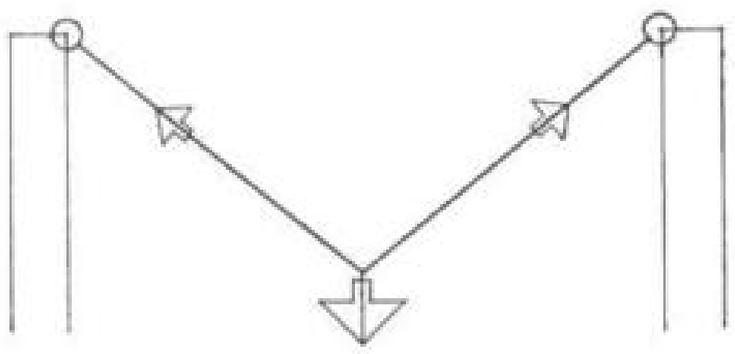
## Diagramas de fuerzas y su geometría matemática

Los cables no pueden absorber flexiones debido a su reducida sección respecto a su longitud. Por lo tanto, la forma portante de un cable suspendido por sus dos extremos coincide con el diagrama de fuerzas para cada caso de carga. Se confirma la relación entre la materialización de los diagramas de fuerzas y la abstracción de la geometría matemática.

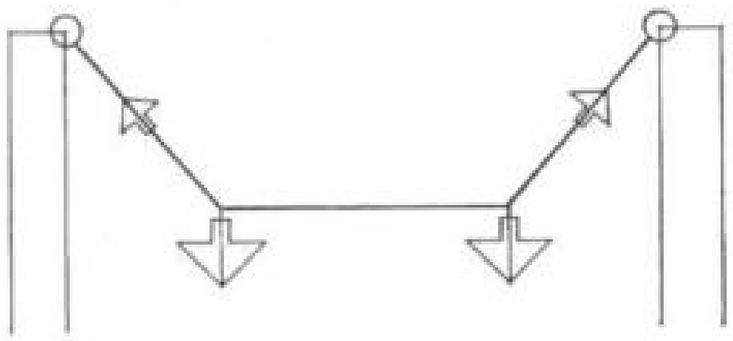
## Diagramas de forças e sua geometria matemática

Os cabos, devido às suas pequenas seções em relação ao seu comprimento, não podem resistir à flexão. Então, a forma estrutural de um cabo suspenso pelos dois extremos é a materialização do diagrama de forças para uma condição de carga específica. Isto confirma uma ligação fundamental entre a corporalidade das imagens de forças e a abstração da geometria matemática.

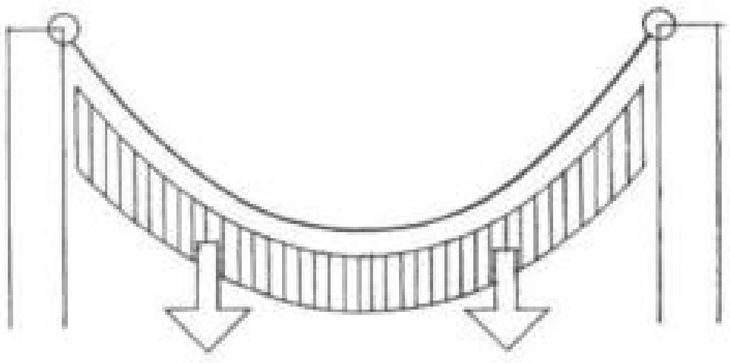
Diagramas de fuerzas / *Diagramas de forças*



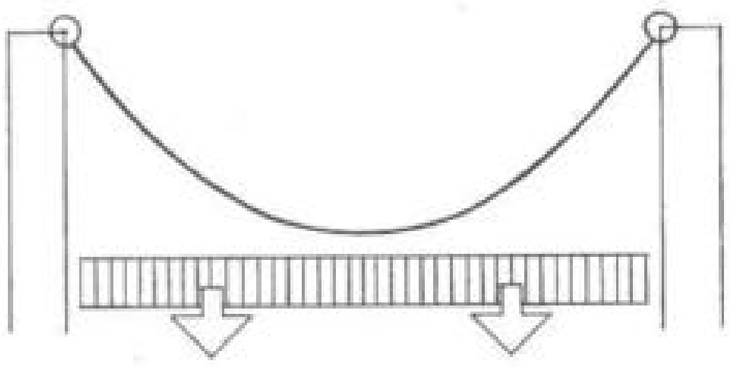
Carga puntual en el centro
*Carga pontual central*



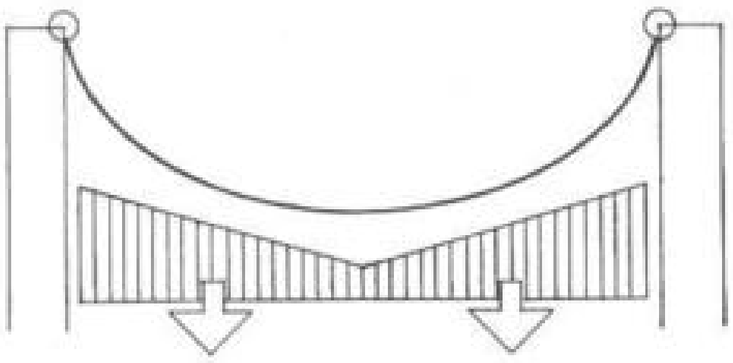
Dos cargas puntuales simétricas
*Duas cargas pontuais simétricas*



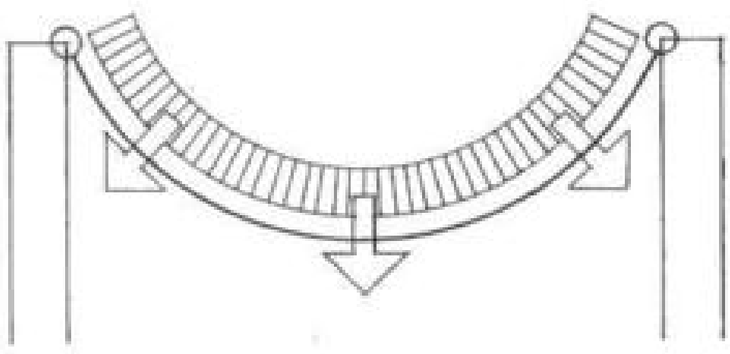
Peso propio = carga uniforme lineal
*Peso próprio = carga linear uniforme*



Carga horizontal lineal y uniforme
*Carga linear horizontal*

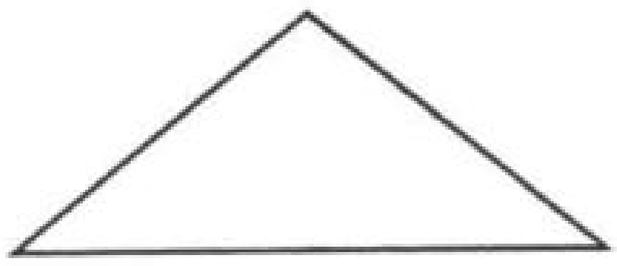


Carga lineal creciente hacia los extremos
*Carga linear crescente lateralmente*

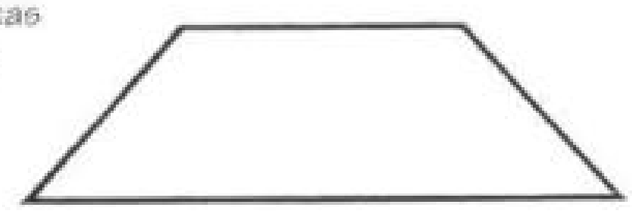


Carga de dirección radial
*Cargas atuando radialmente*

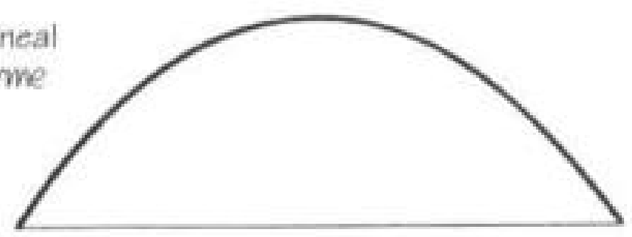
Figuras geométricas / *Figuras geométricas*



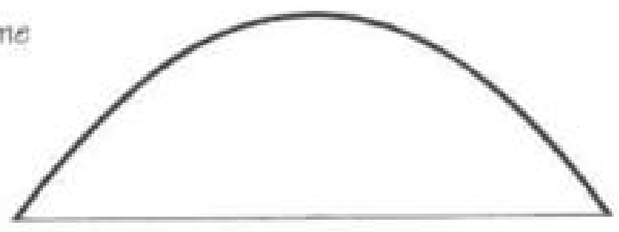
Triángulo isósceles
*Triângulo isósceles*



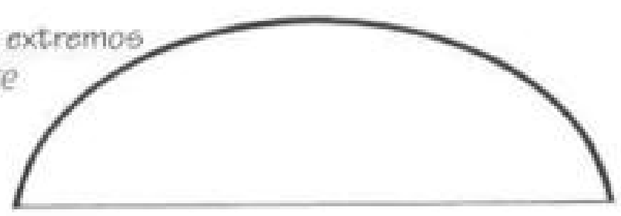
Trapecio
*Trapezoide*



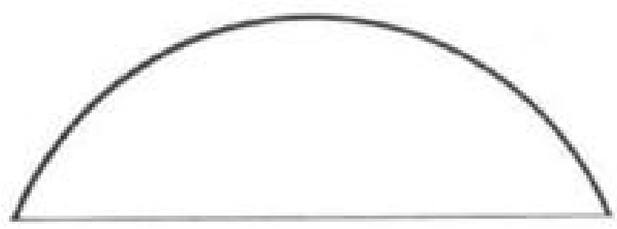
Arco funicular o catenaria
*Linha de empuxo funicular ou catenária*



Parábola
*Parábola*



Segmento elíptico
*Segmento elíptico*



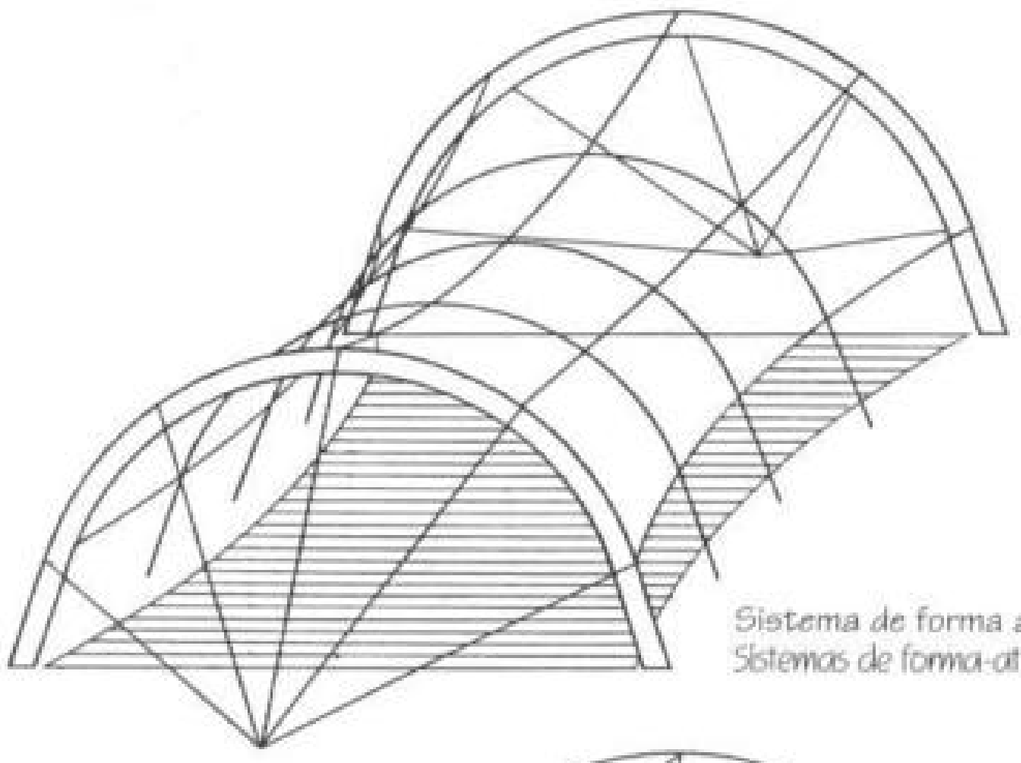
Segmento circular
*Segmento circular*

# Geometría
# Forma de la estructura 7

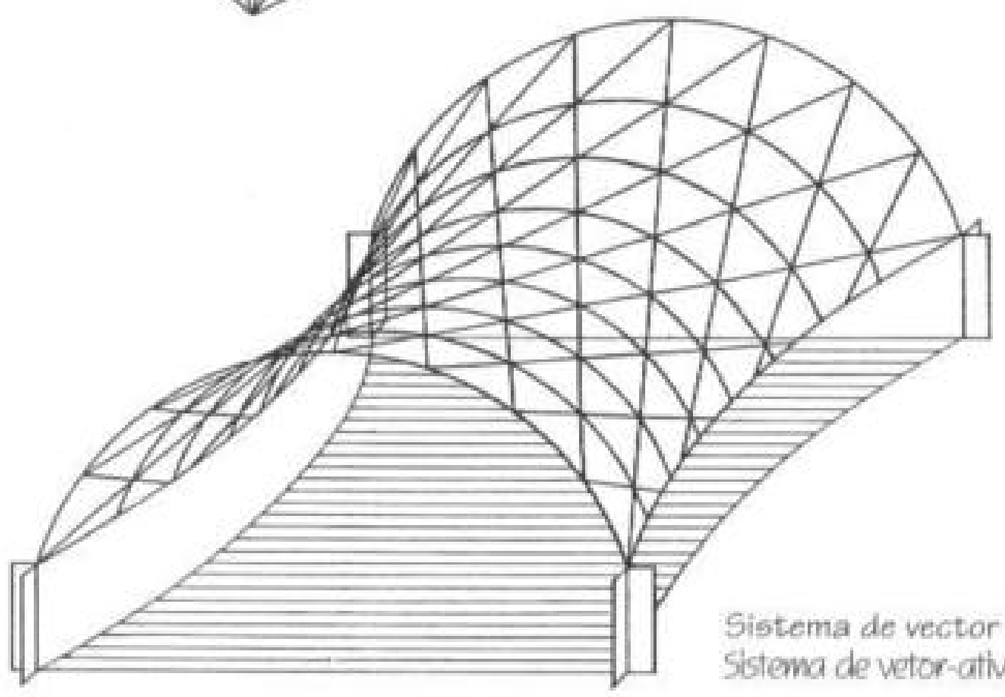
Potencial de las figuras geométricas básicas para el diseño de estructuras
Potencial das formas geométricas básicas para imagens de sistemas estruturais

Las formas geométricas básicas se comportan frente a fuerzas exteriores de una manera específica para ellas. Esto quiere decir que cada forma básica posee un mecanismo de resistencia típico. Sin embargo, dentro de esta especificidad, son posibles diferentes sistemas estructurales.

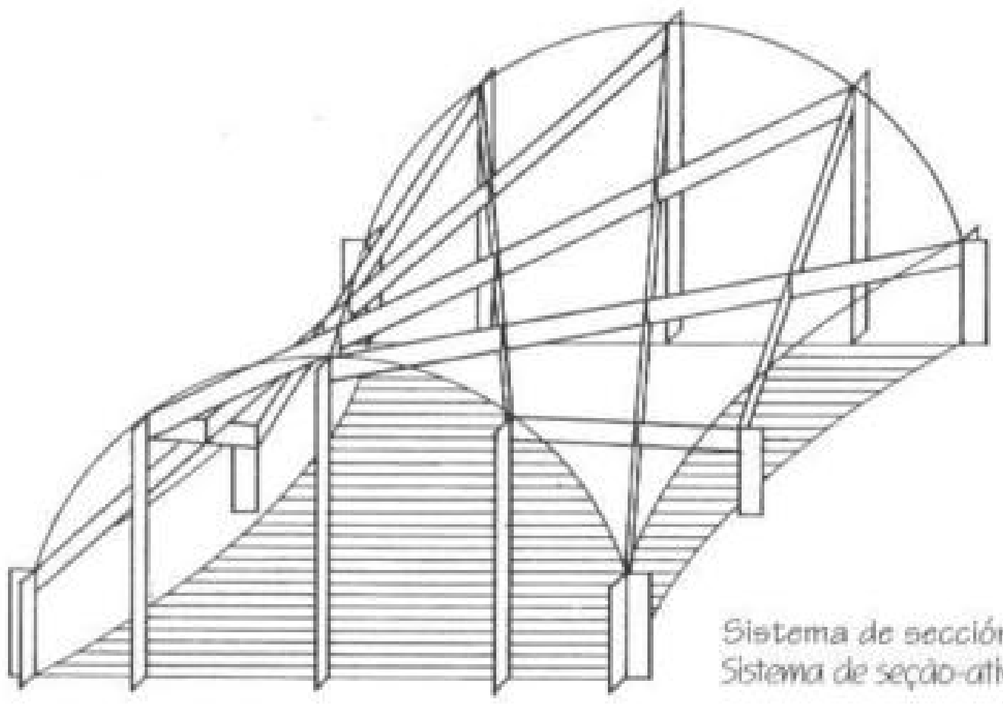
As formas geométricas básicas submetidas a forças externas comportam-se de maneira específica. Isto é, a cada forma básica é atribuído um mecanismo típico de resistência. Apesar disso, dentro desta categoria de comportamento -dependente das propriedades geométricas- podem ser empregados diferentes sistemas estruturais.



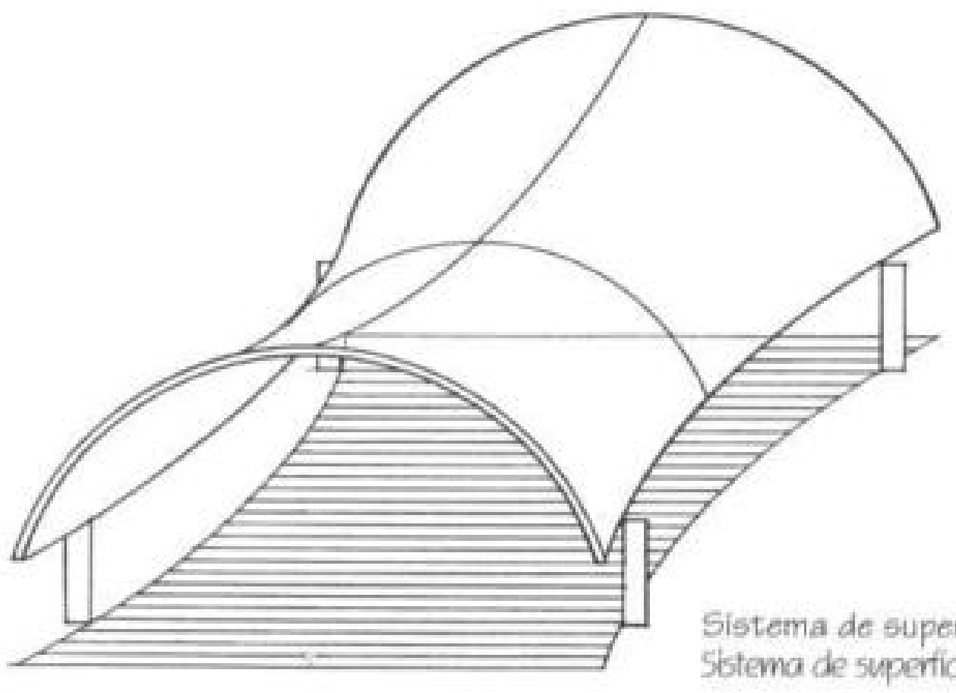
Sistema de forma activa: malla de cables
Sistemas de forma-ativa: rede de cabos



Sistema de vector activo: malla de lamas
Sistema de vetor-ativa: malha lamelar

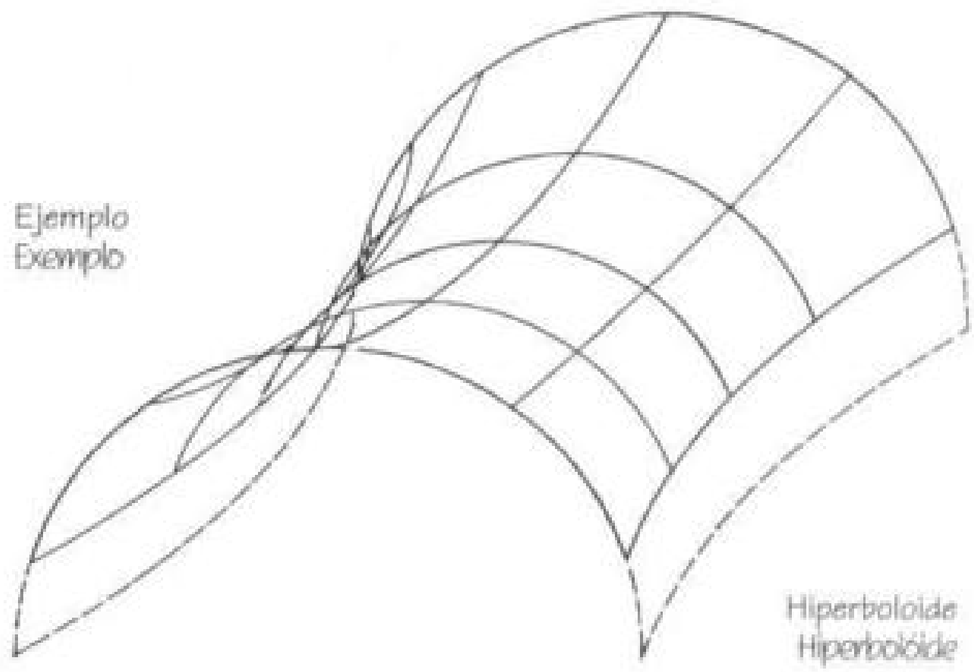


Sistema de sección activa: retícula de vigas
Sistema de seção-ativa: malhas de viga

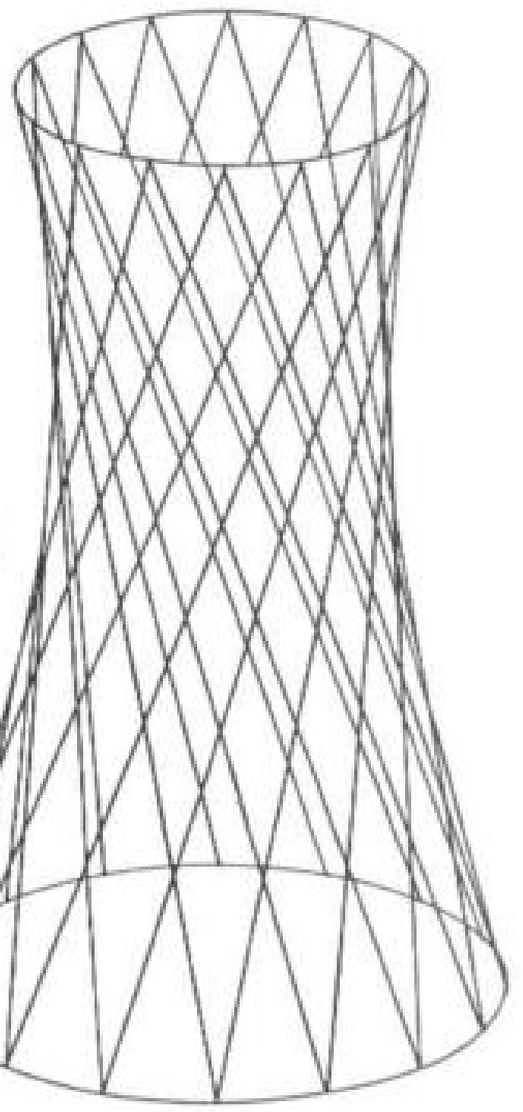


Sistema de superficie activa: membrana
Sistema de superficie-ativa: casca

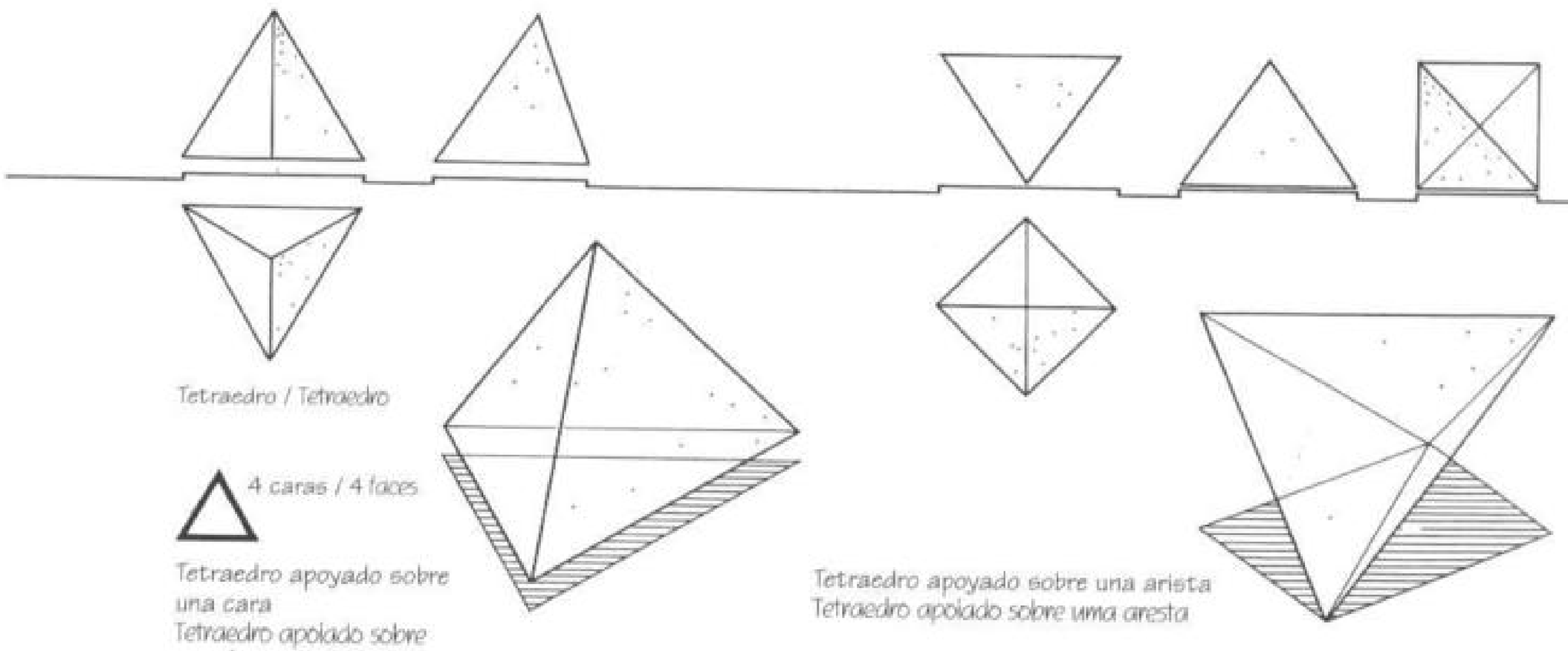
Ejemplo
Exemplo



Hiperboloide
Hiperbolóide



Sistema de altura activa: celosía envolvente
Sistema de altura-ativa: tubo entreliçado



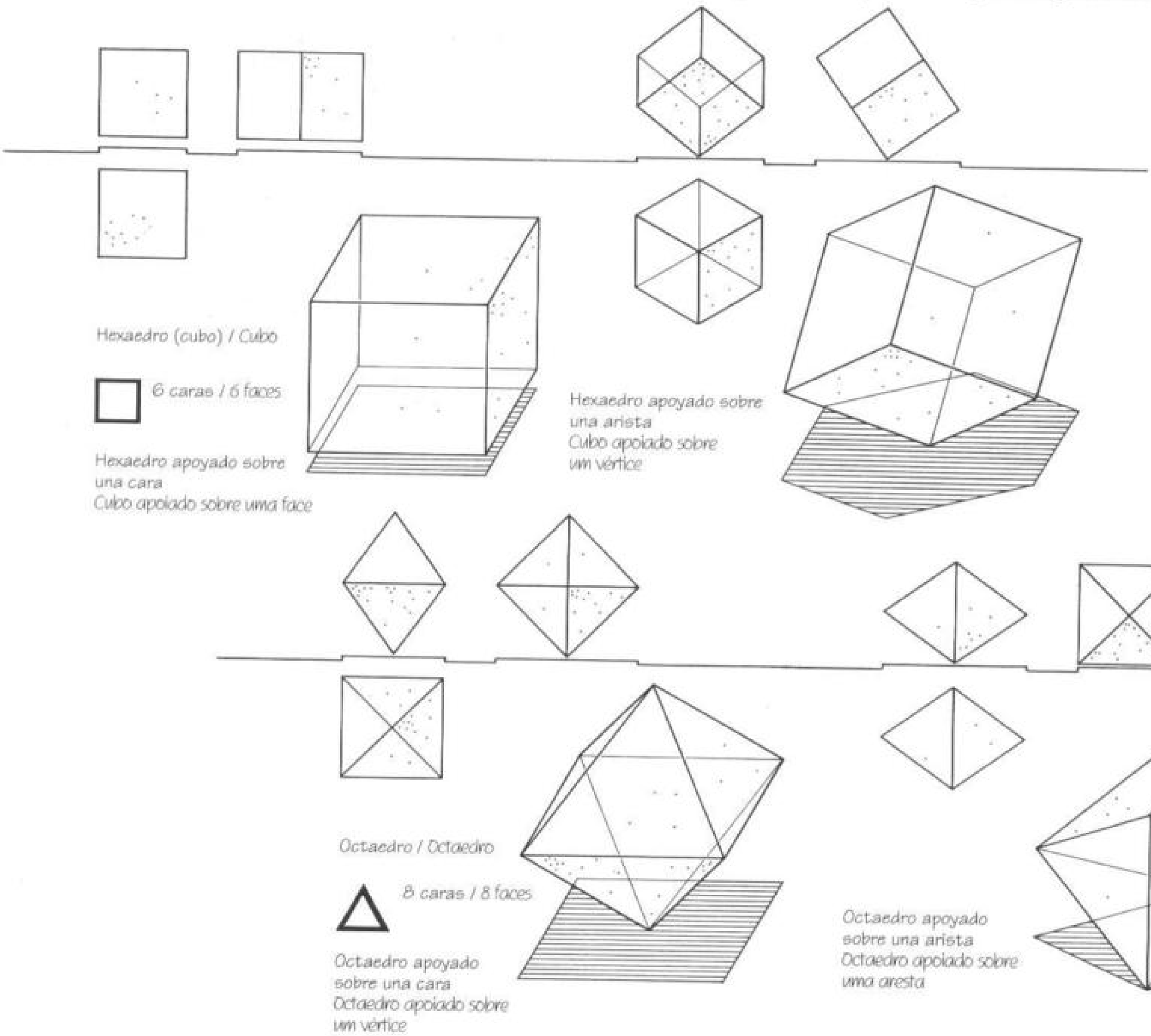
Tetraedro / Tetraedro

4 caras / 4 faces

Tetraedro apoyado sobre una cara
Tetraedro apoiado sobre uma face

Tetraedro apoyado sobre una arista
Tetraedro apoiado sobre uma aresta

## Pliegues con superficies iguales: geometría de los poliedros



Hexaedro (cubo) / Cubo

6 caras / 6 faces

Hexaedro apoyado sobre una cara
Cubo apoiado sobre uma face

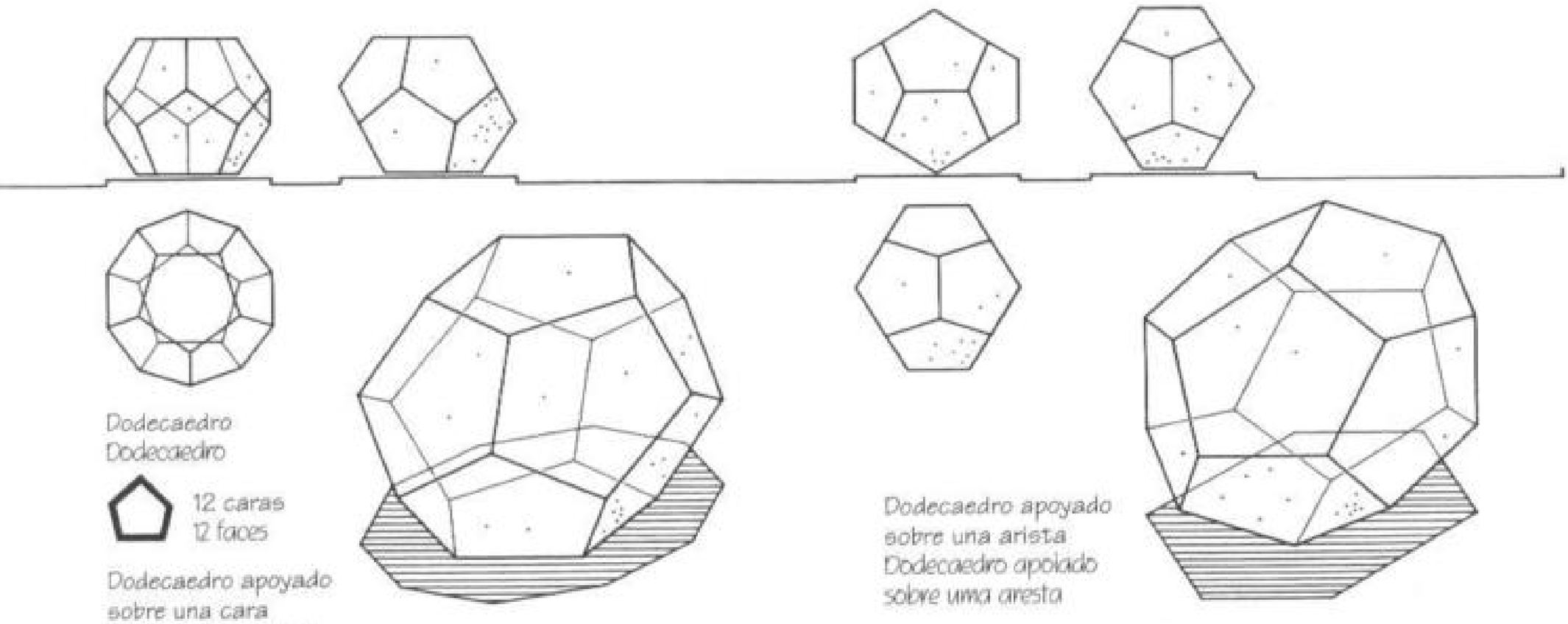
Hexaedro apoyado sobre una arista
Cubo apoiado sobre um vértice

Octaedro / Octaedro

8 caras / 8 faces

Octaedro apoyado sobre una cara
Octaedro apoiado sobre um vértice

Octaedro apoyado sobre una arista
Octaedro apoiado sobre uma aresta



Dodecaedro
Dodecaedro

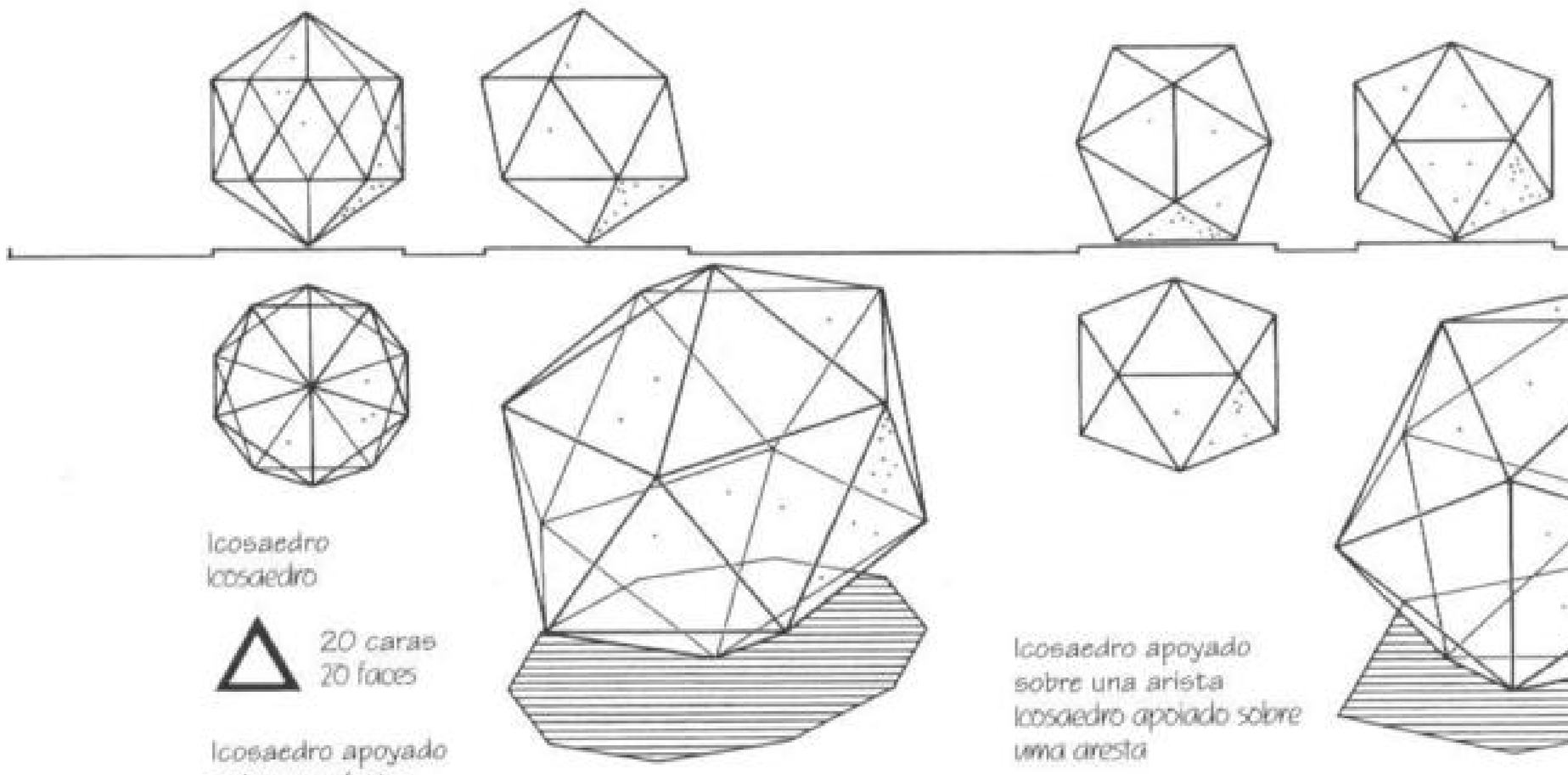
12 caras
12 faces

Dodecaedro apoyado sobre una cara
Dodecaedro apoiado sobre uma face

Dodecaedro apoyado sobre una arista
Dodecaedro apoiado sobre uma aresta

## Sistemas doblados con superficies iguales: geometría de los poliedros

## Sistemas dobrados com superfícies iguais: geometria dos poliedros

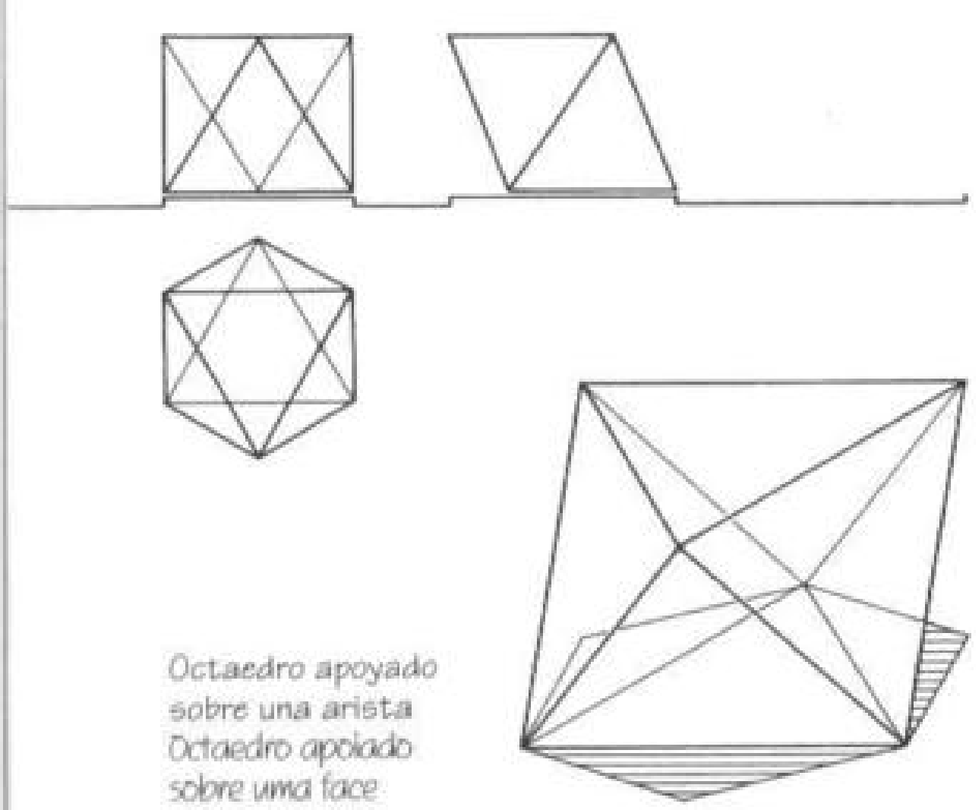


Icosaedro
Icosaedro

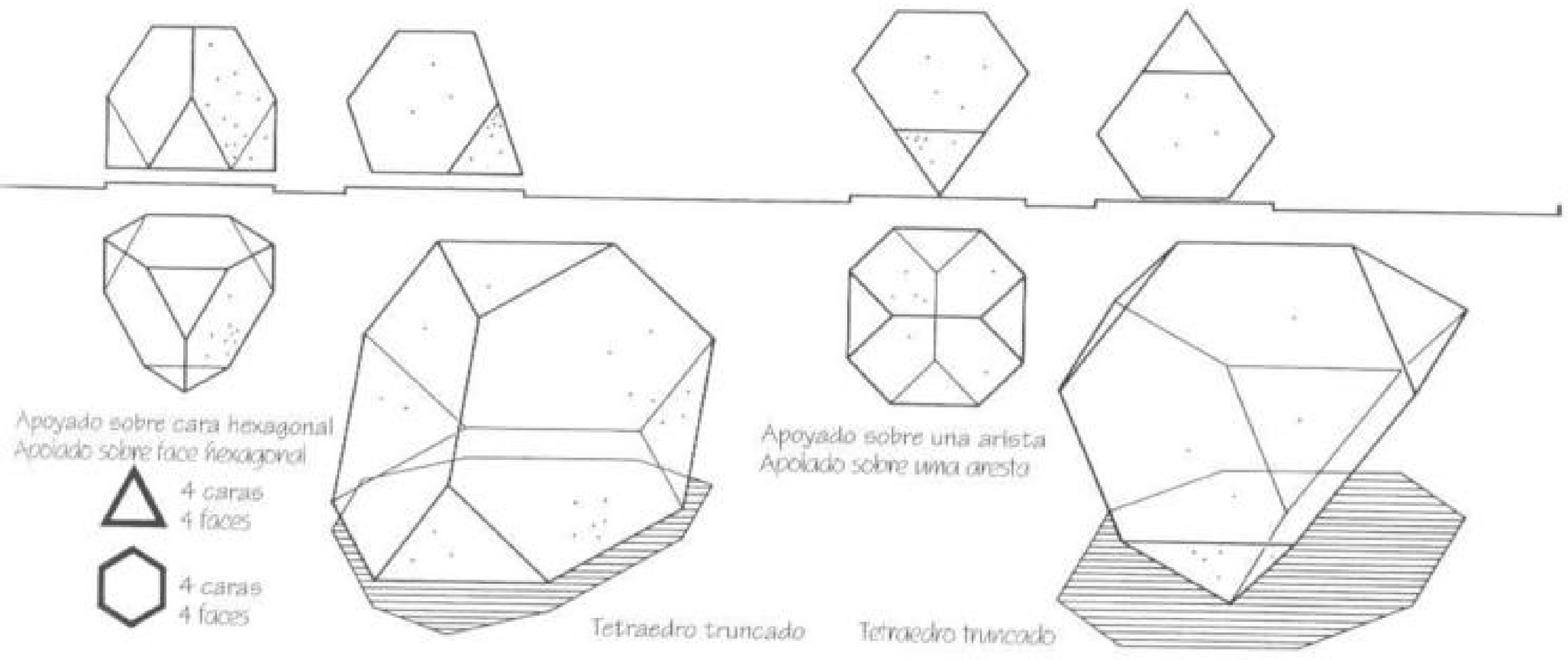
20 caras
20 faces

Icosaedro apoyado sobre un vértice
Icosaedro apoiado sobre um vértice

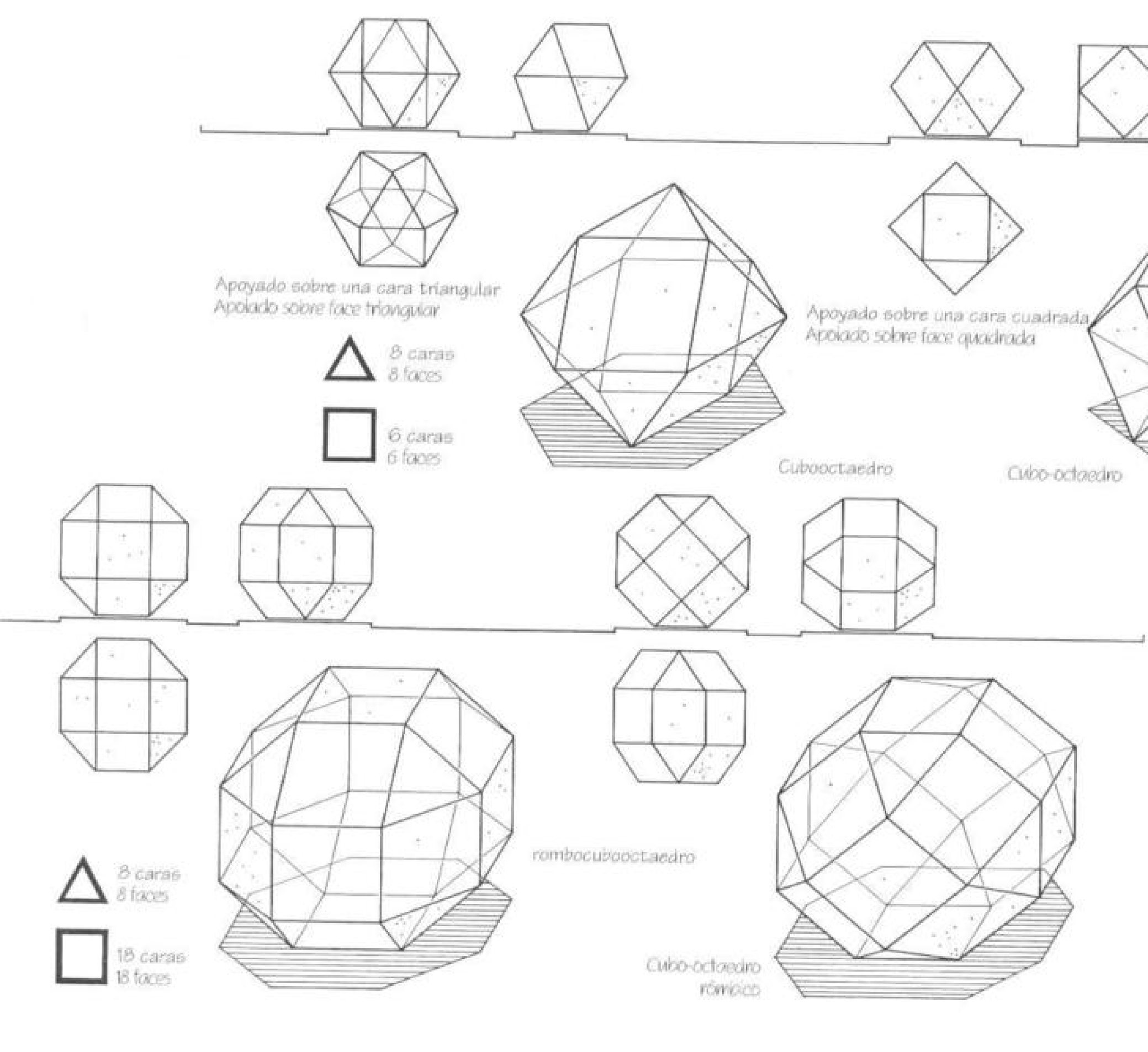
Icosaedro apoyado sobre una arista
Icosaedro apoiado sobre uma aresta

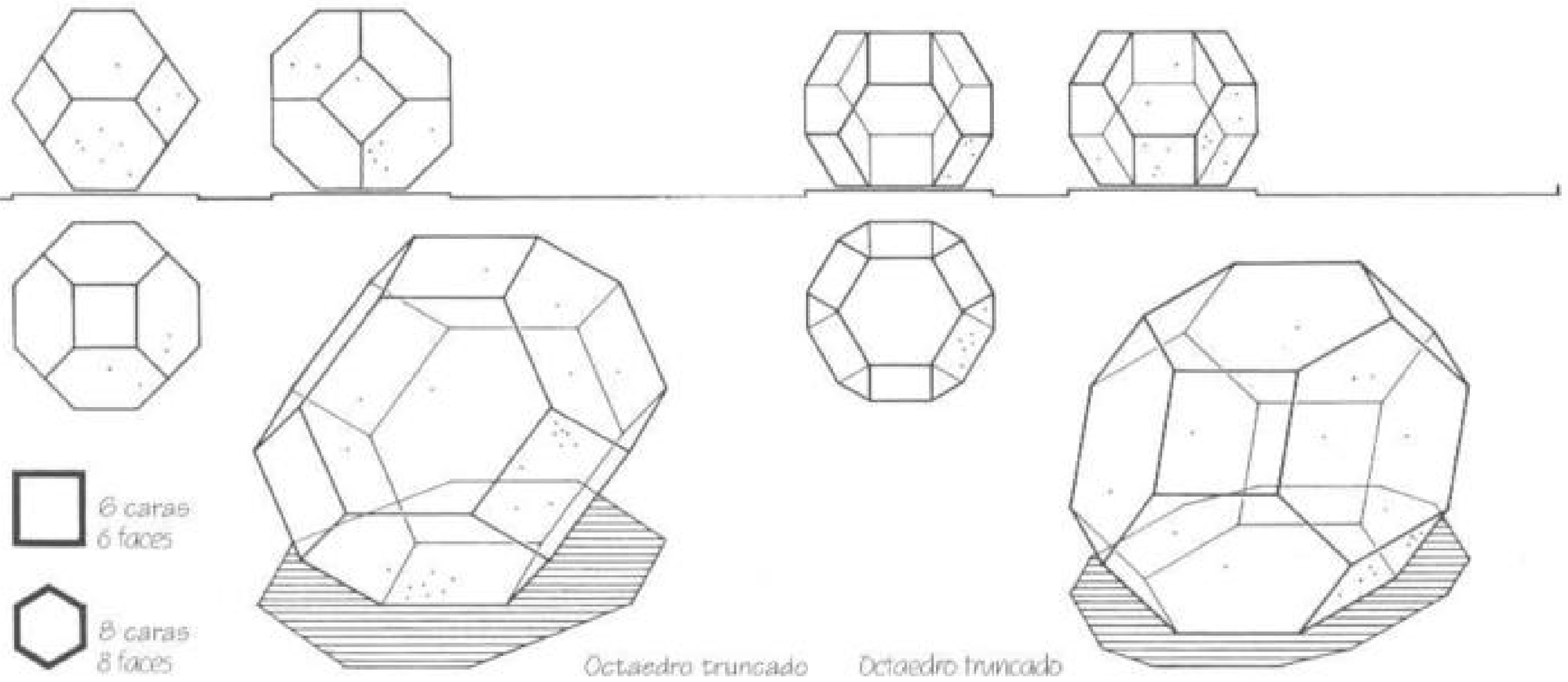


Octaedro apoyado sobre una arista
Octaedro apoiado sobre uma face

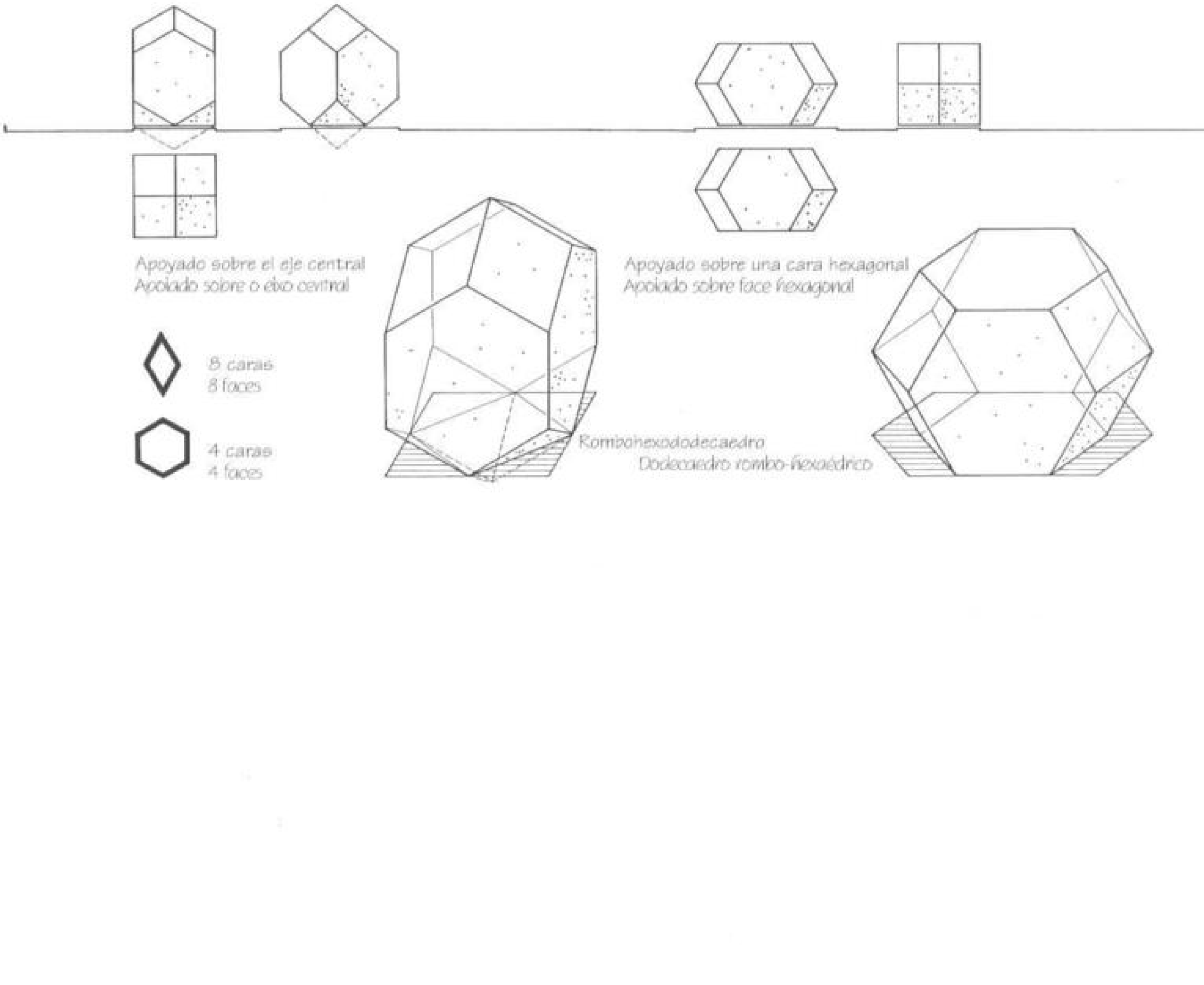


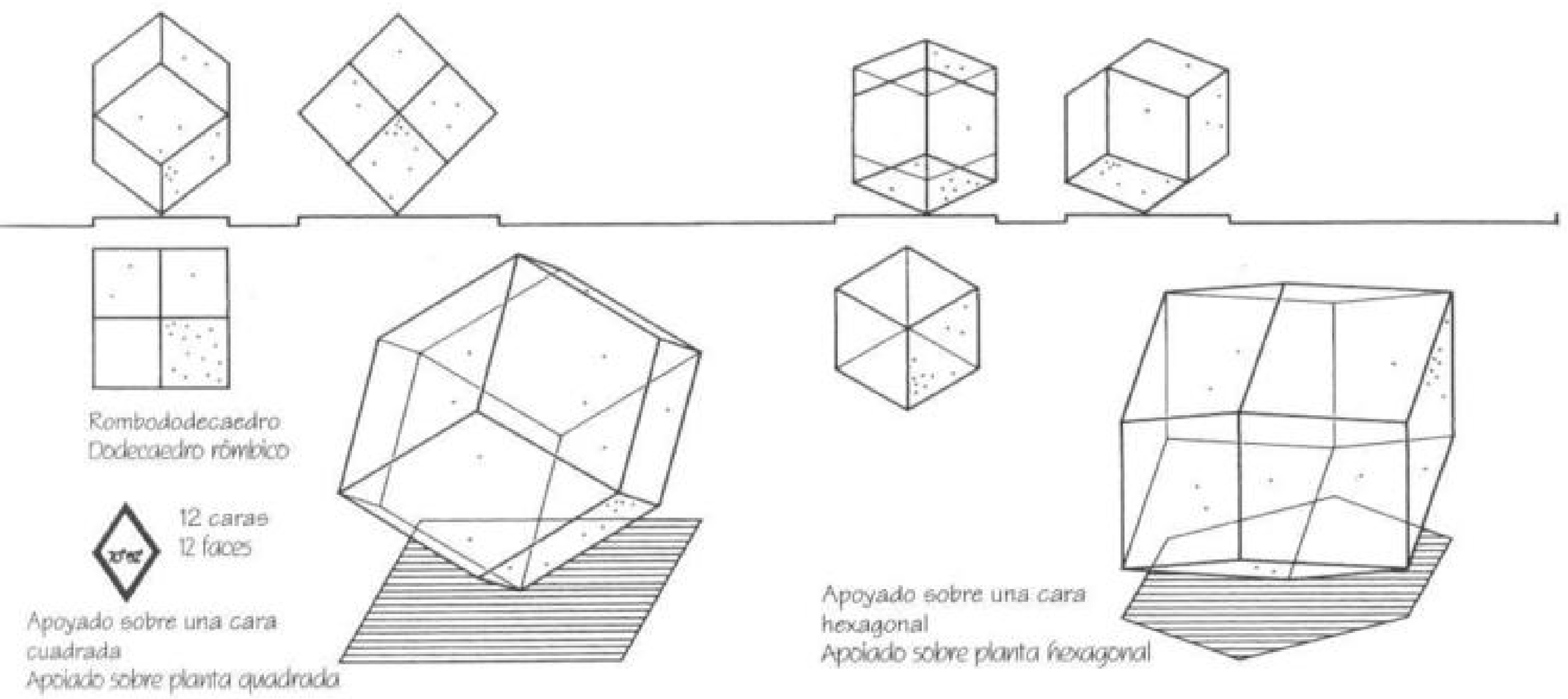

Pliegues con superficies iguales: *geometría de los poliedros*






Sistemas dobrados com superficies iguais: geometria dos poliedros



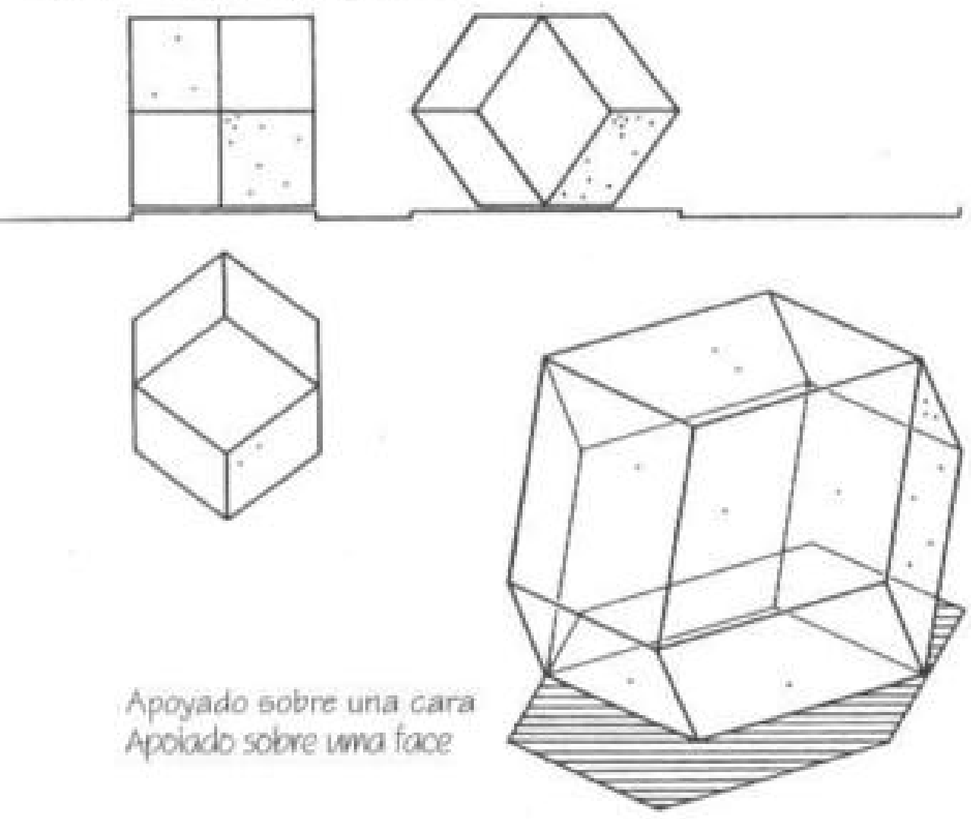


Rombododecaedro
Dodecaedro rômbico

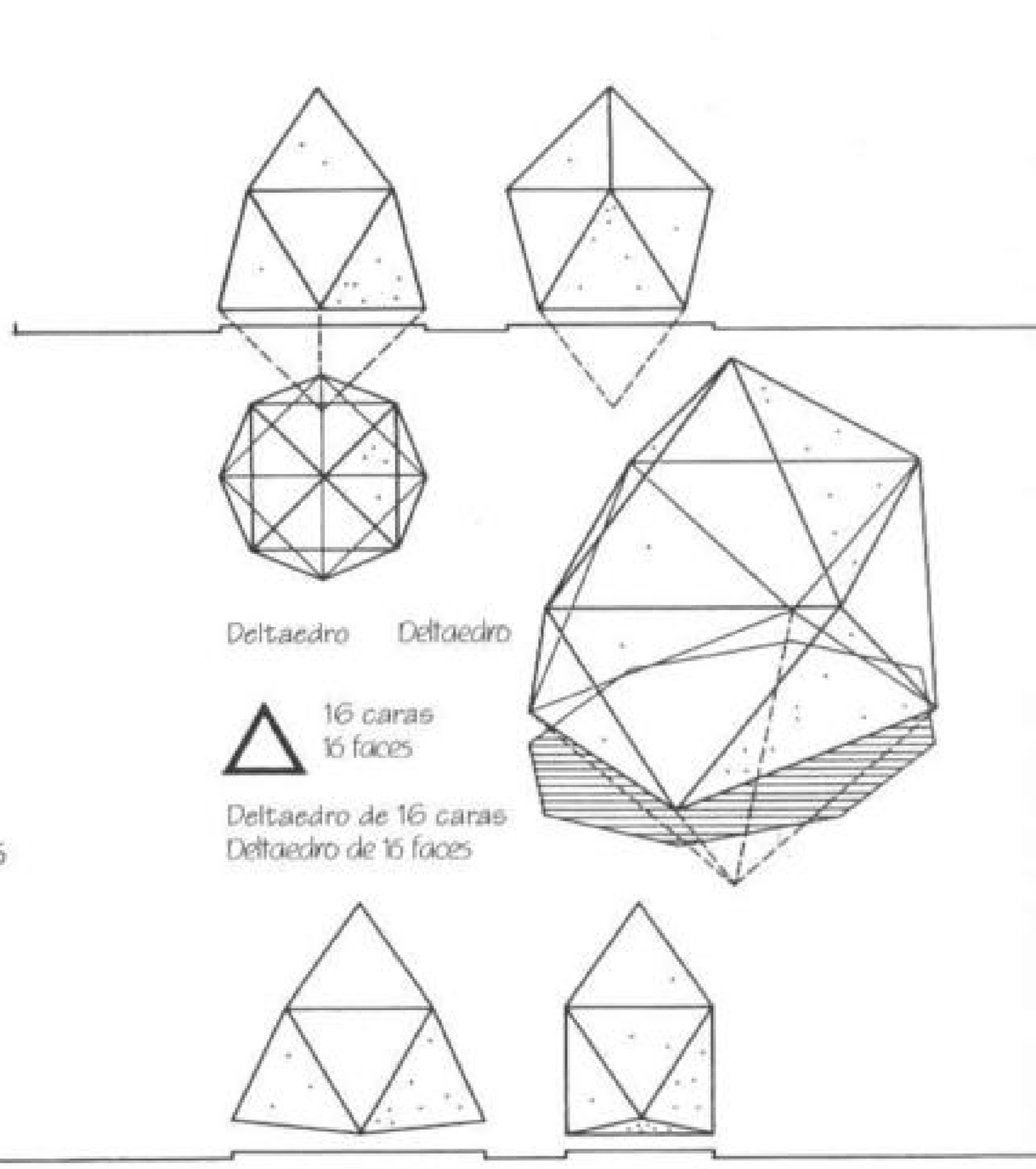
12 caras
12 faces

Apoyado sobre una cara cuadrada
Apoiado sobre planta quadrada

Apoyado sobre una cara hexagonal
Apoiado sobre planta hexagonal



Apoyado sobre una cara
Apoiado sobre uma face

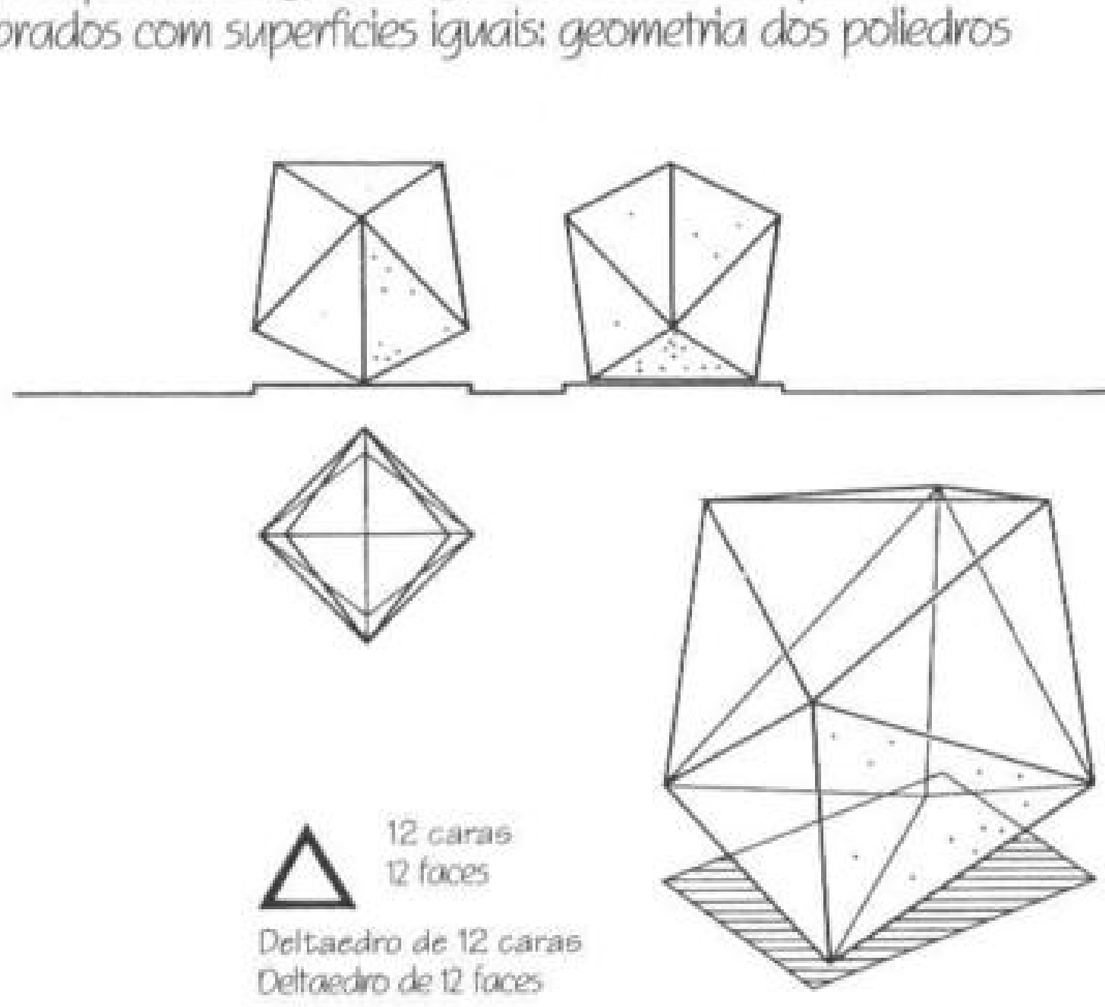


Deltaedro Deltaedro

16 caras
16 faces

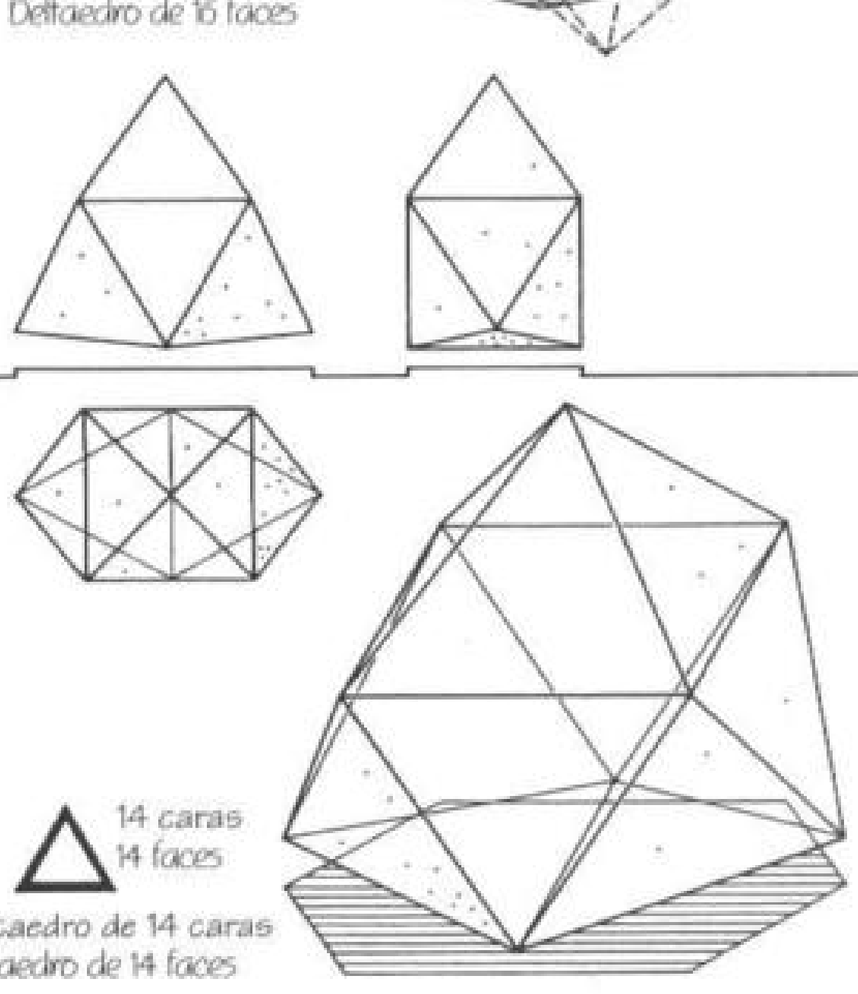
Deltaedro de 16 caras
Deltaedro de 16 faces

## Pliegues con superficies iguales: geometría de los poliedros
## Sistemas dobrados com superficies iguais: geometria dos poliedros



12 caras
12 faces

Deltaedro de 12 caras
Deltaedro de 12 faces



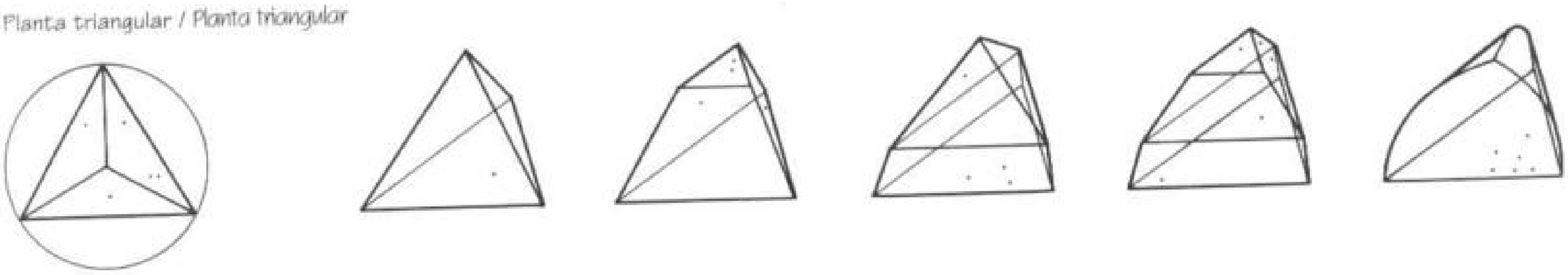
14 caras
14 faces

Deltaedro de 14 caras
Deltaedro de 14 faces

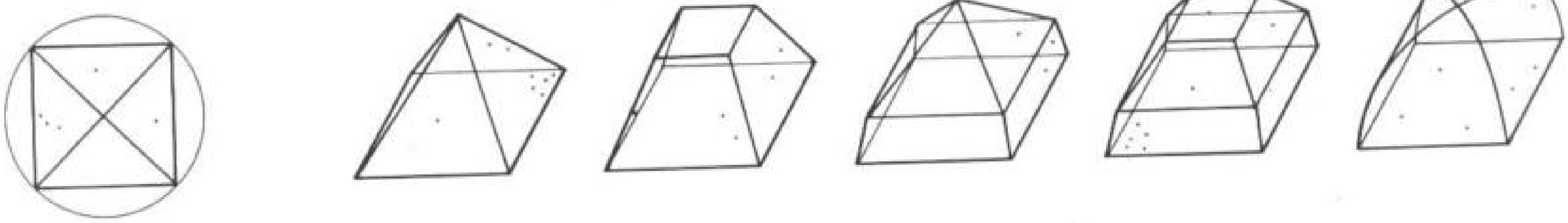
## Superficies plegadas piramidalmente sobre una geometría especial en planta

## Superficies dobradas piramidais sobre plantas de geometrías especiais

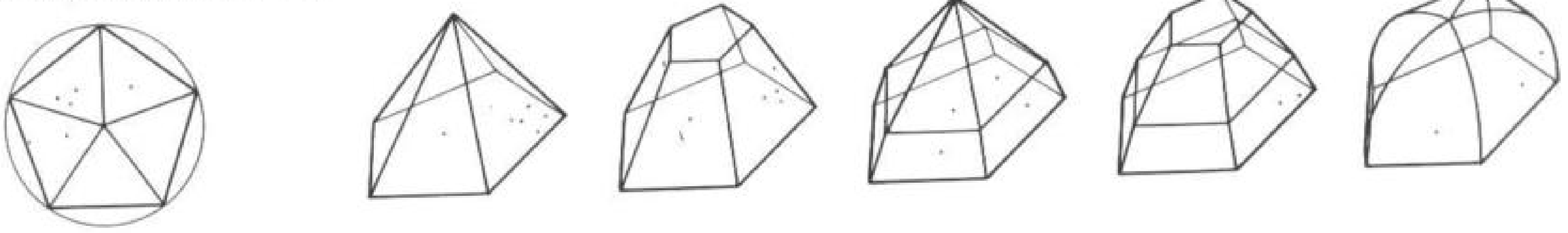
Planta triangular / *Planta triangular*



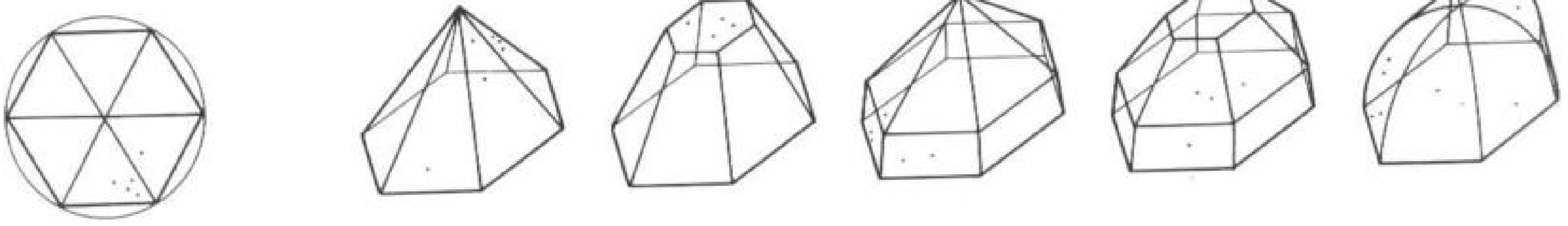
Planta cuadrada / *Planta quadrada*



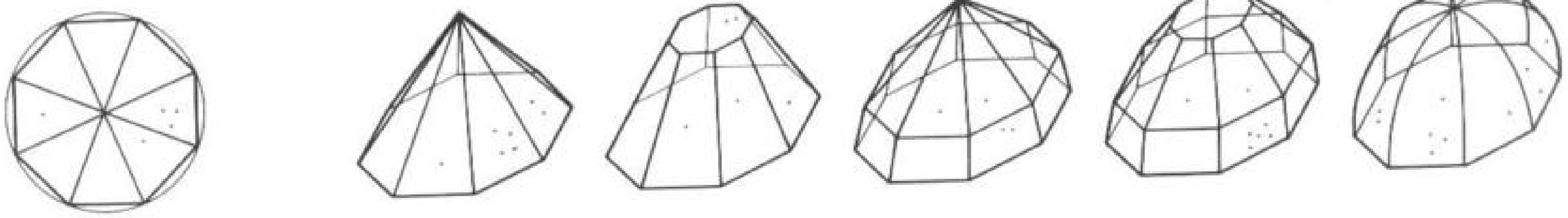
Planta pentagonal / *Planta pentagonal*



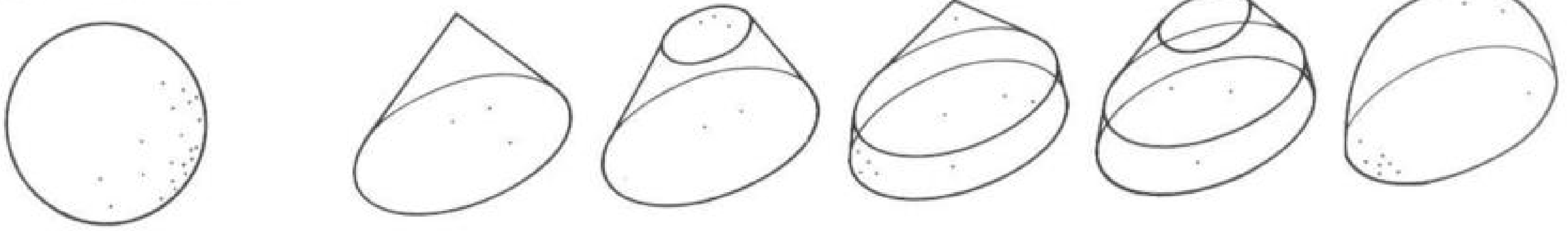
Planta hexagonal / *Planta hexagonal*



Planta octogonal / *Planta octogonal*

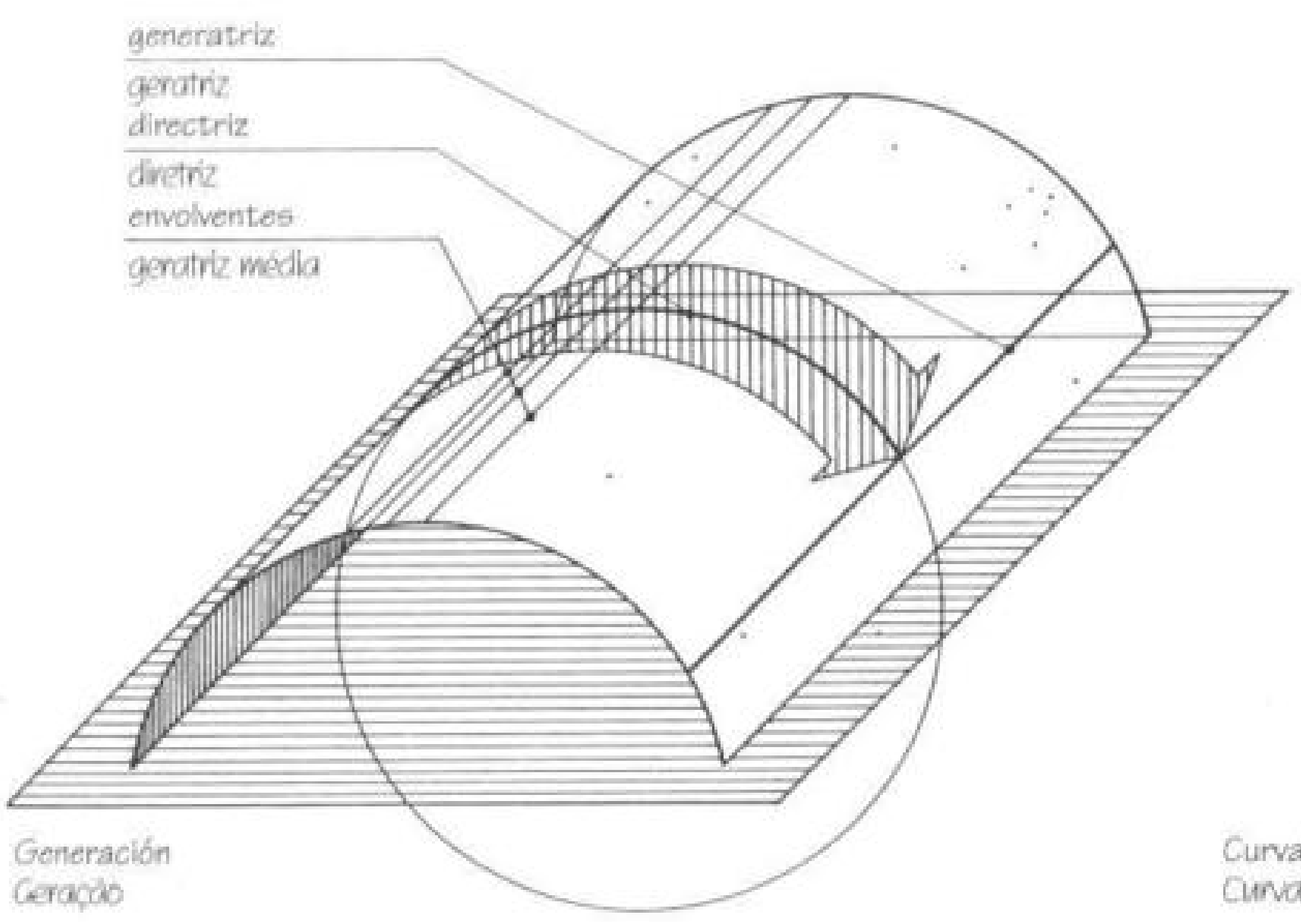


Planta circular / *Planta circular*

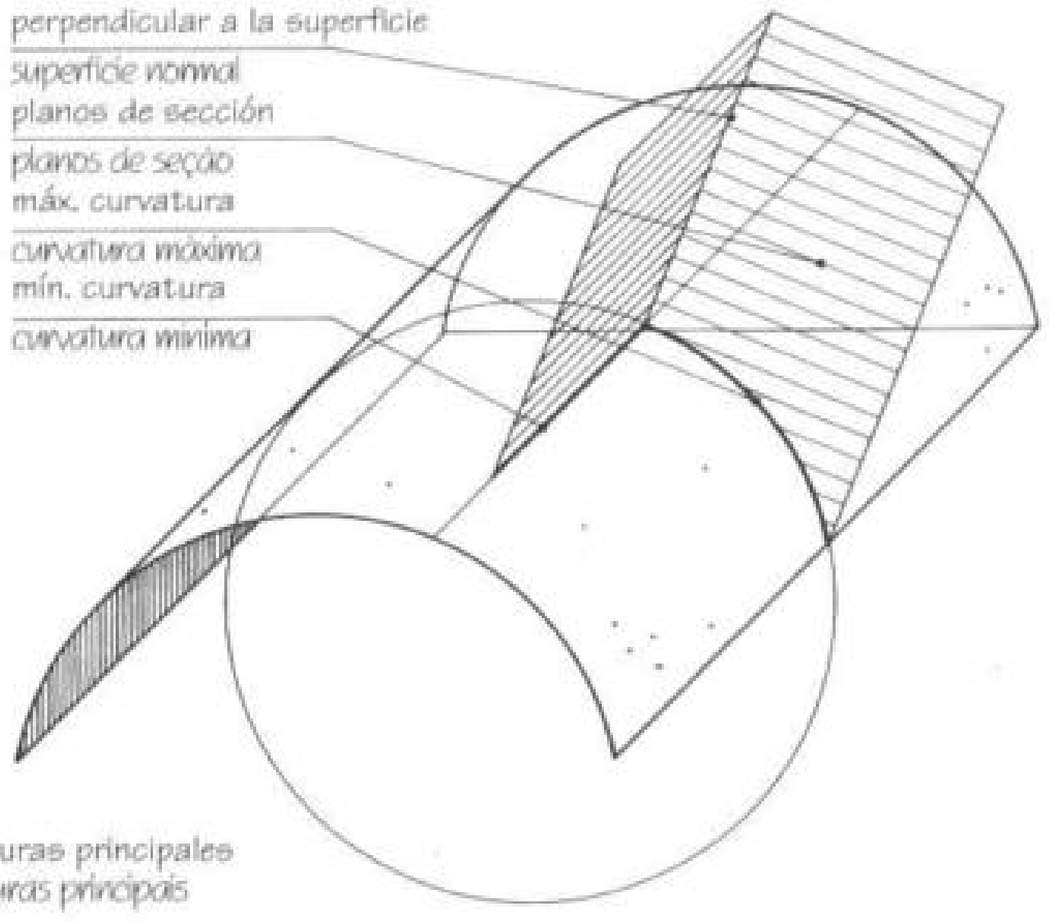


## Geometría de las superficies cilíndricas

## Geometria das superficies cilíndricas




Generación
Geração




Curvaturas principales
Curvaturas principais

La superficie se genera deslizando un línea recta horizontal (generatriz) a lo largo de una directriz, que se encuentra en un plano perpendicular a la generatriz.

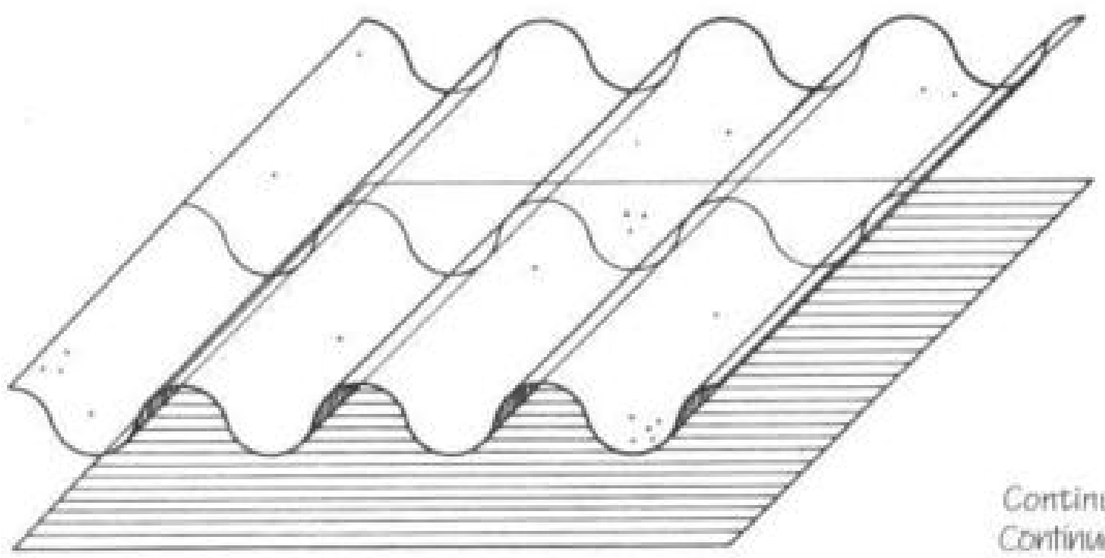
A superfície é gerada por deslizamento de uma linha reta (geratriz) ao longo de uma curva (diretriz), que se encontra em um plano perpendicular à geratriz.

La máxima curvatura de un punto de la superficie viene dada por la directriz, mientras que la mínima curvatura se encuentra en la dirección de la generatriz y es igual a cero.

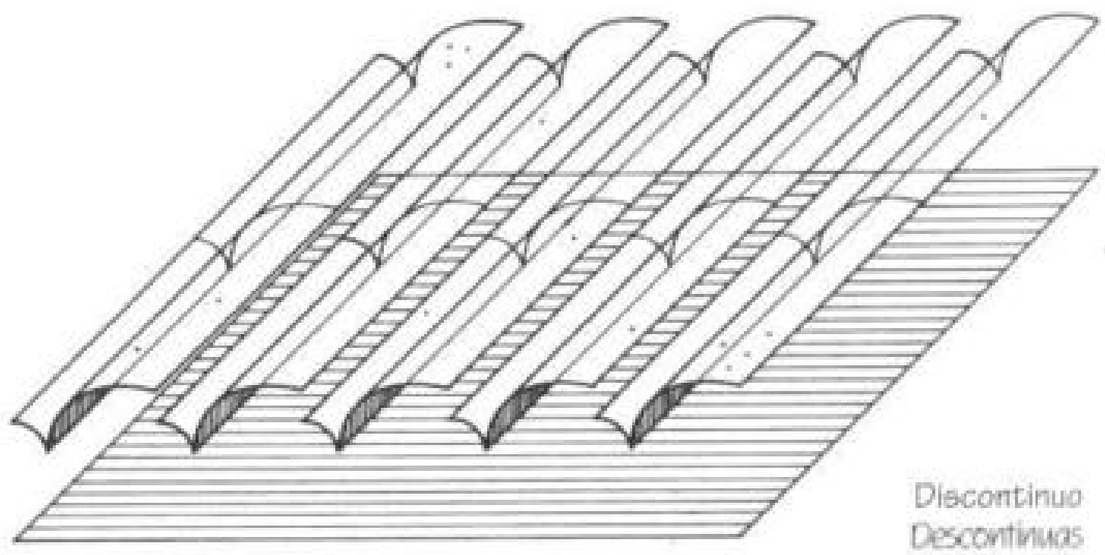
A curvatura máxima de qualquer ponto é dada pela diretriz, já a curvatura mínima encontra-se na direção da geratriz e é igual a zero.

## Alineación de superficies cilíndricas para cubrir grandes superficies

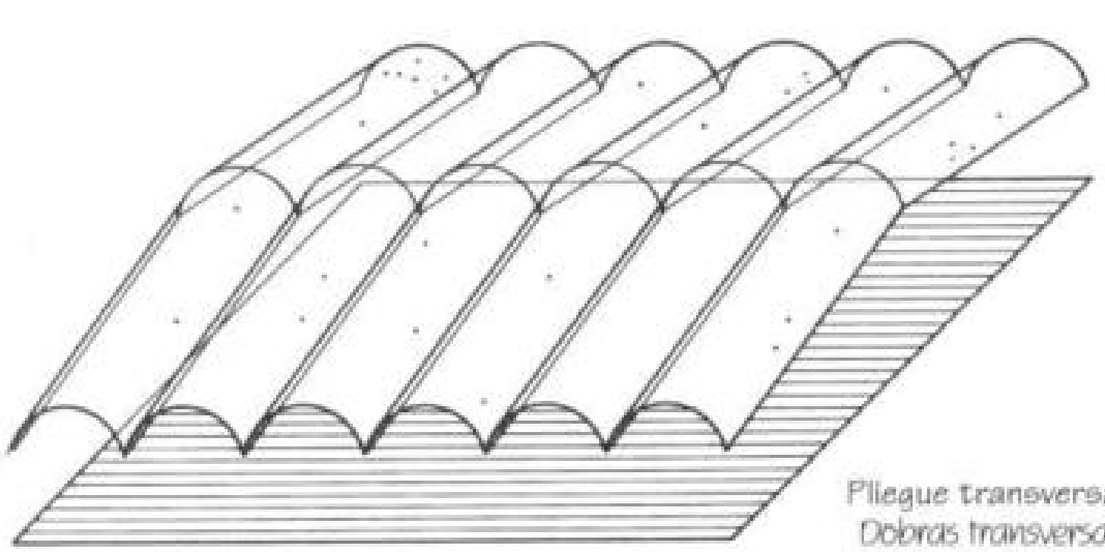
## Justaposição de superficies cilíndricas para cobrir grandes áreas



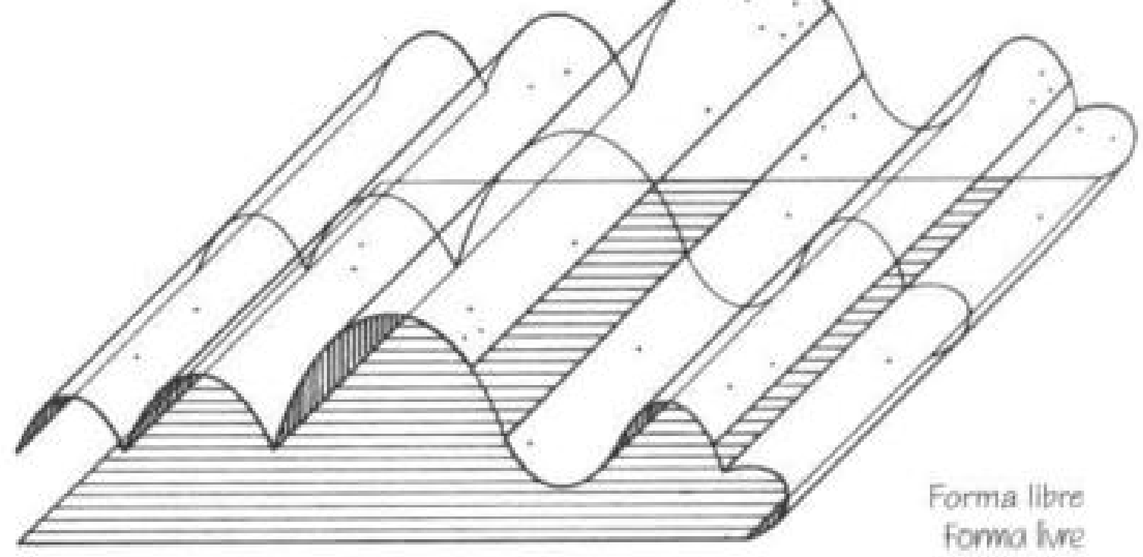
Continuo
Continuas



Discontinuo
Descontinuas



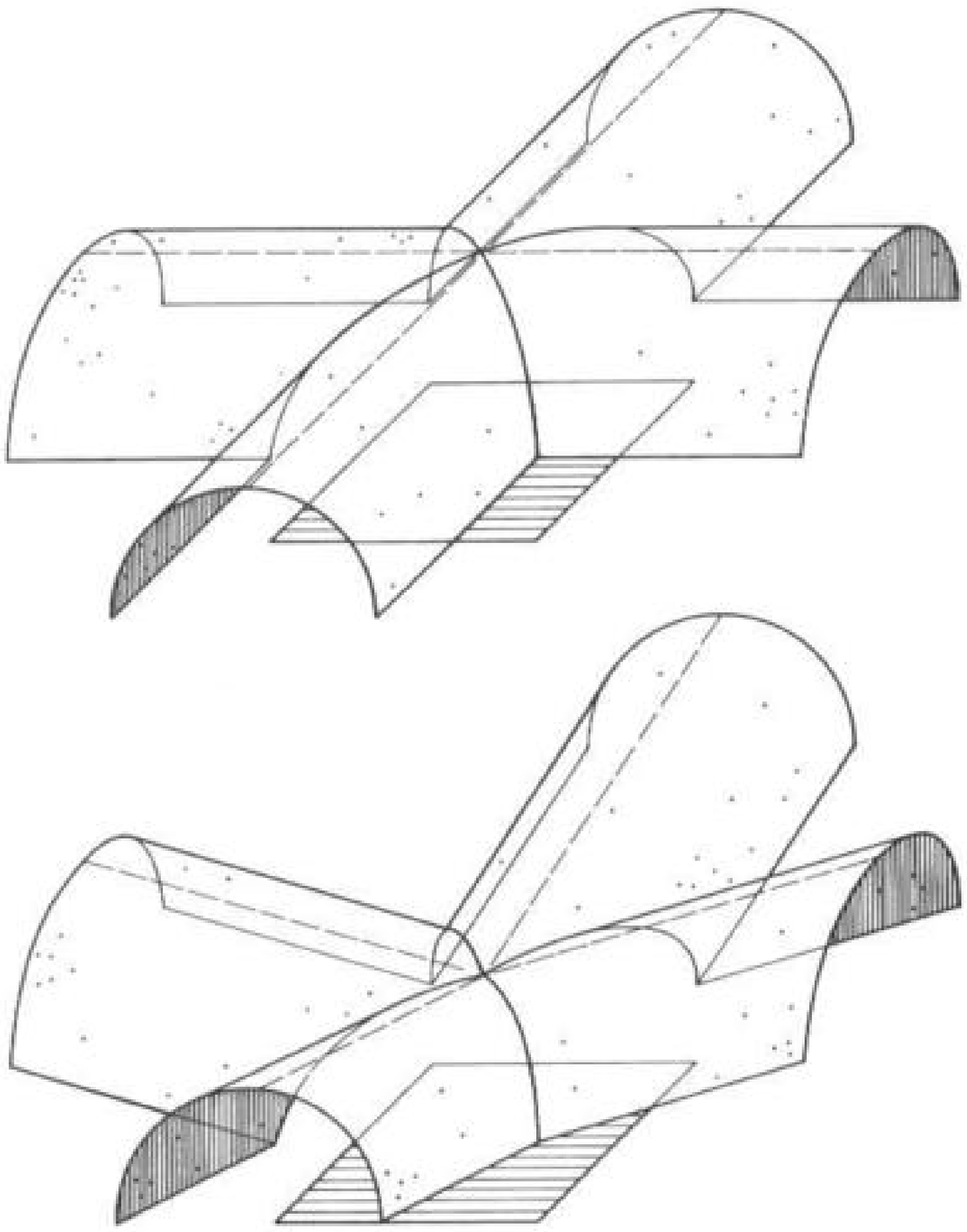
Pliegue transversal
Dobras transversais

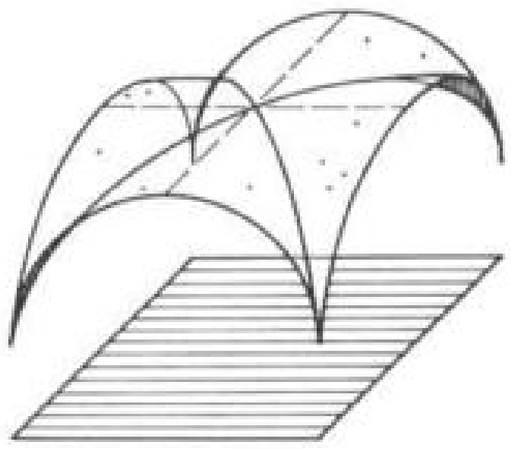


Forma libre
Forma livre

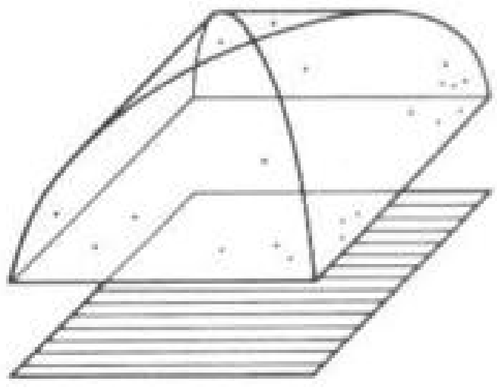
## Sistemas de estructuras a partir de la intersección de superficies cilíndricas

## Sistemas estruturais de interseção de superfícies cilíndricas

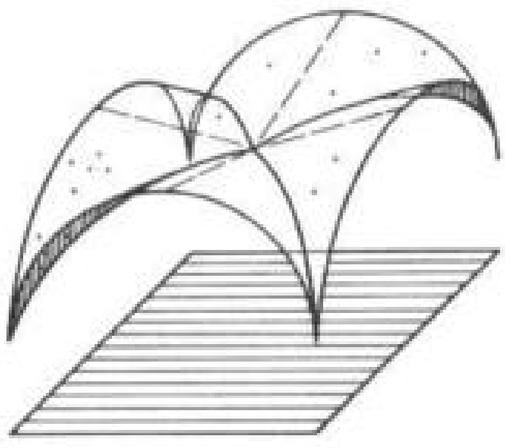




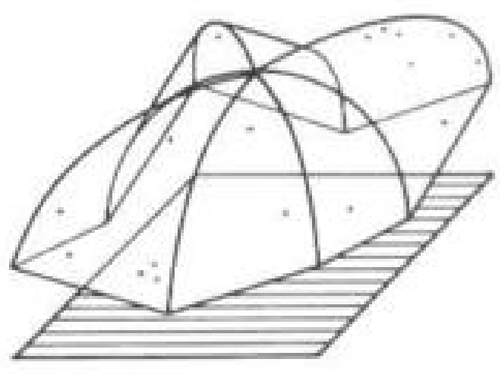
Generatriz en un plano



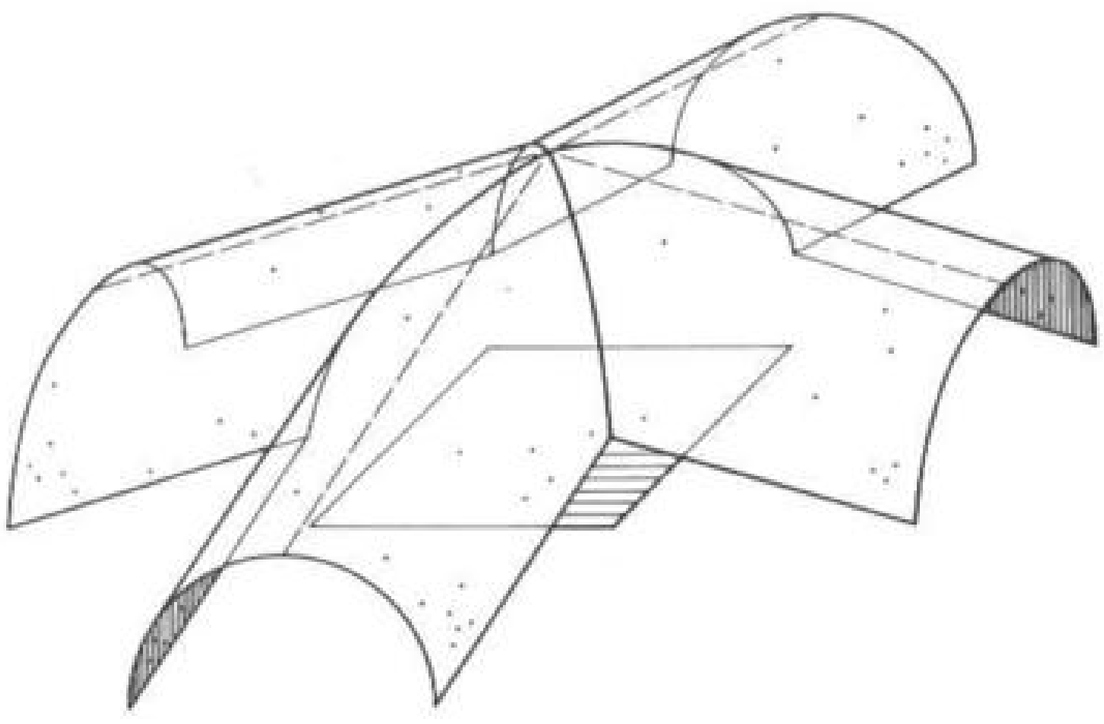
Geratriz em um plano

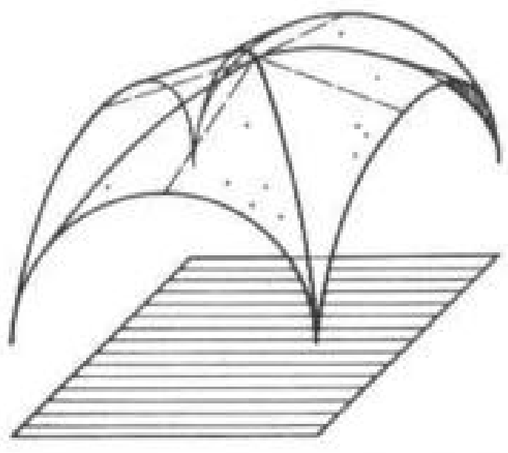


Generatriz decreciente hacia el centro

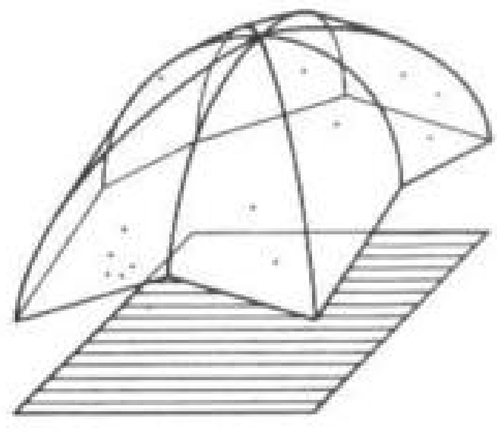


Geratriz inclinada em direção ao centro





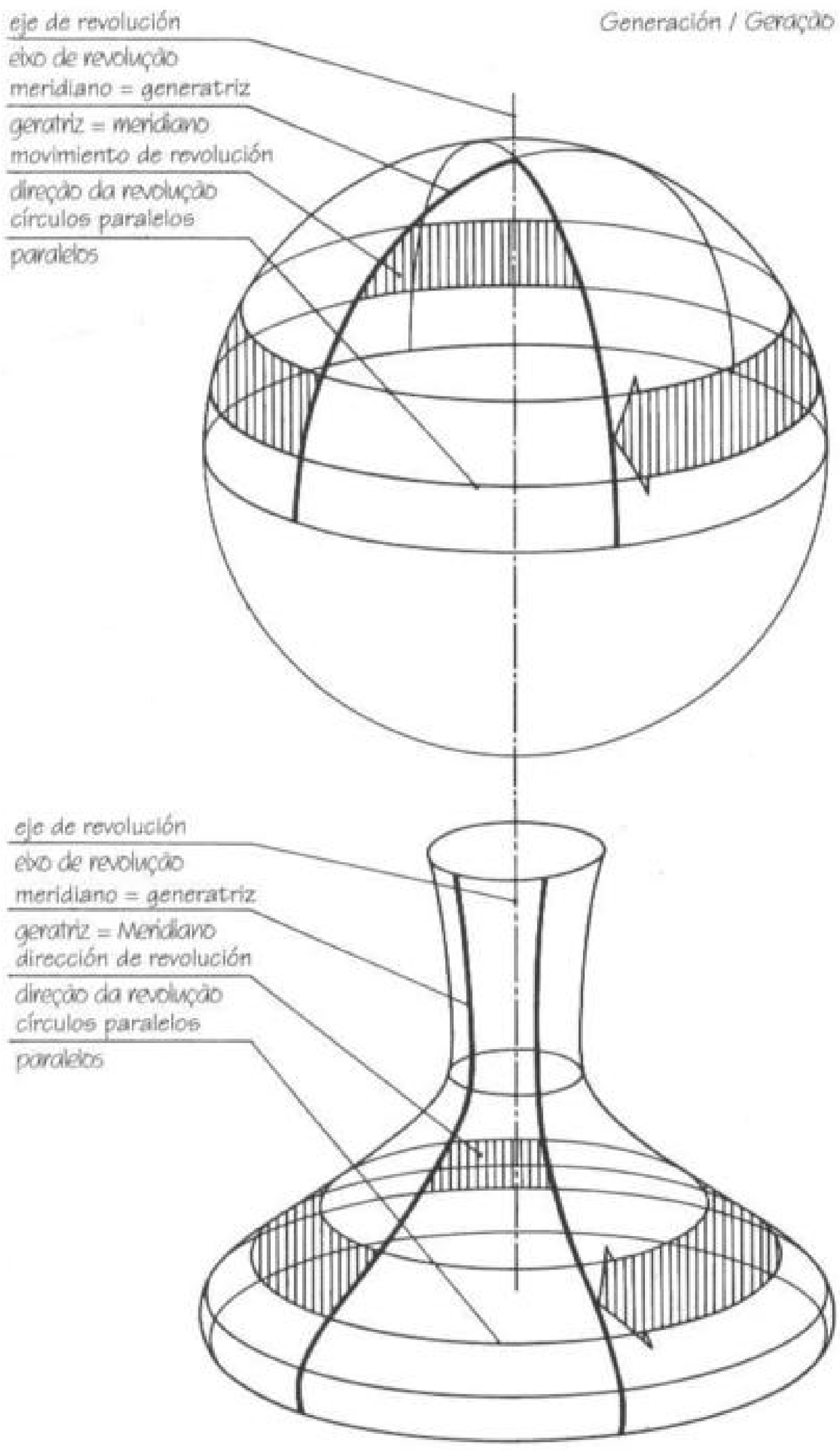
Generatriz creciente hacia el centro



Geratriz elevando-se em direção ao centr

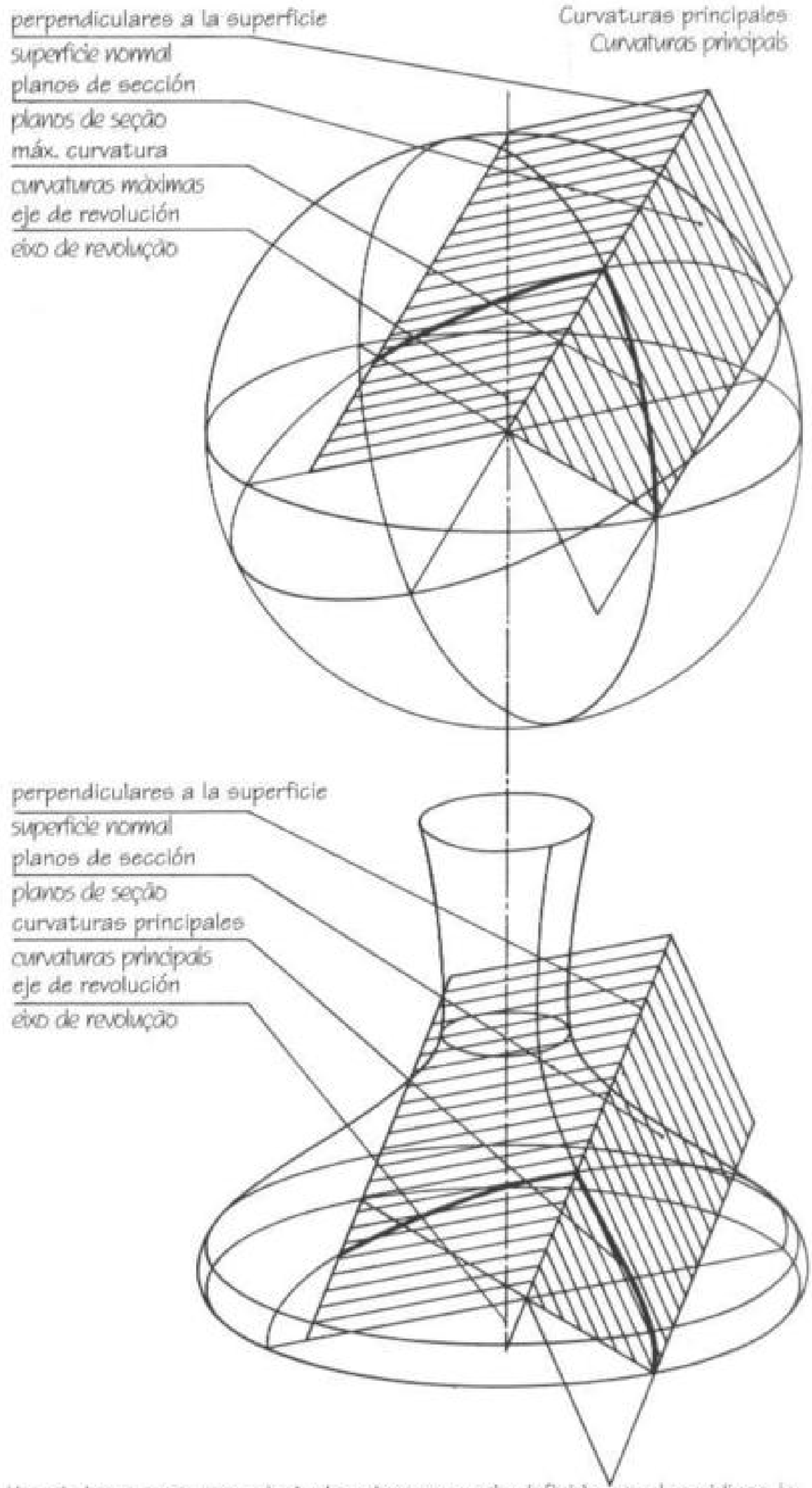
## Geometría de las superficies de rotación: sólidos de revolución

## Geometria das superfícies rotativas: sólidos de revolução




La superficie se genera rotando una curva plana de forma geométrica o libre (meridiano) alrededor de un eje vertical. Todas las curvas de sección horizontal son círculos.

A superfície é gerada pela rotação de uma curva plana de forma geométrica ou livre, chamada geratriz (meridiano), em torno de um eixo vertical. Todas as curvas de seção horizontal são círculos.



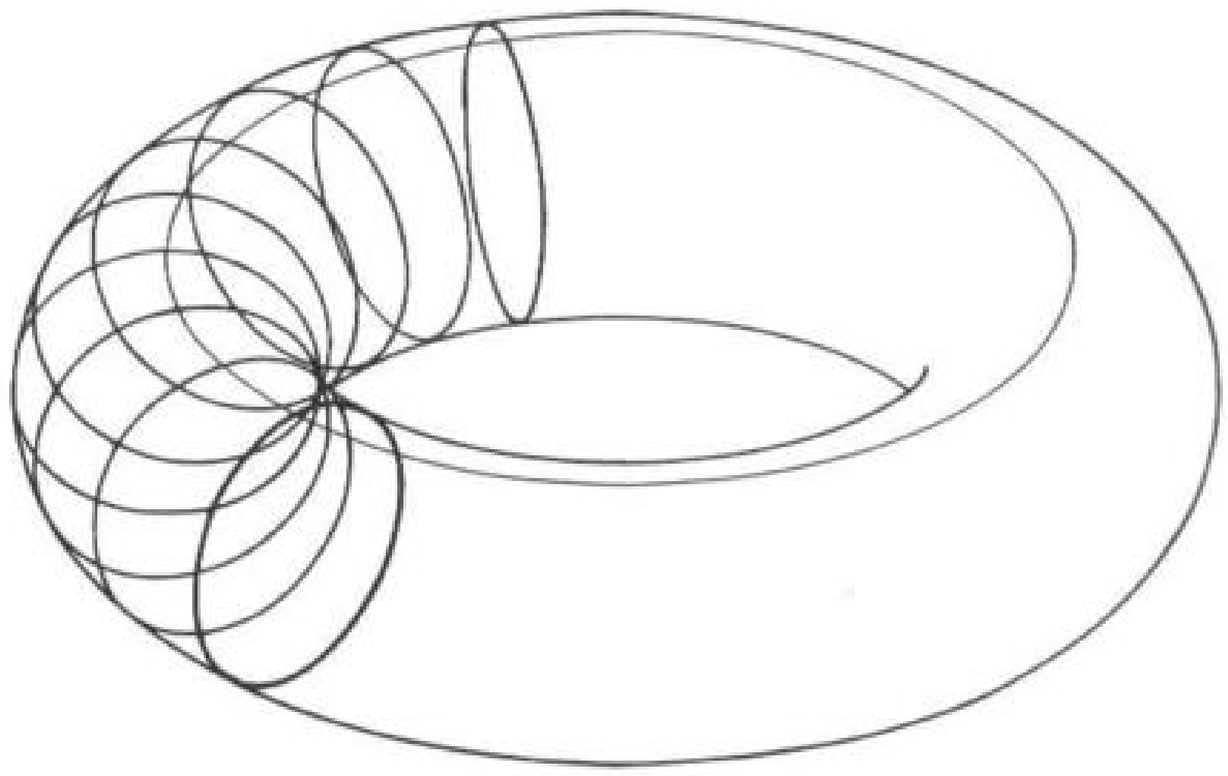

Una de las curvaturas principales siempre queda definida por el meridiano, la otra por la sección con un plano perpendicular al plano del meridiano.

Uma curvatura principal de qualquer ponto é dada pelo meridiano; a outra pela seção com um plano que corta a superfície normal, sendo vertical ao plano meridional.

## Formas especiales de las superficies de revolución
## Formas especiais de superfícies rotativas

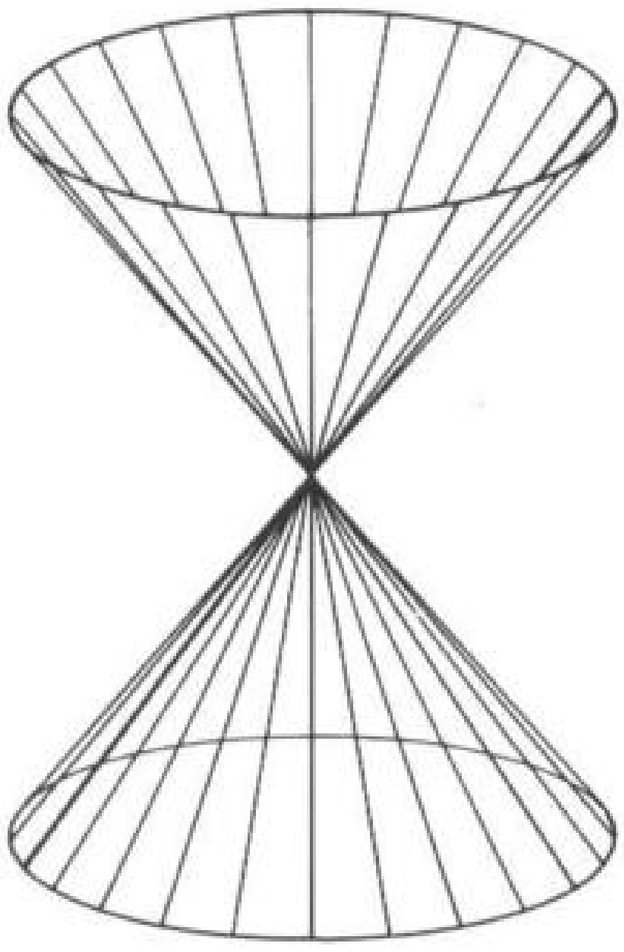
Si la generatriz es un círculo y el eje de revolución se encuentra en el plano del círculo, pero tangente o fuera de él, se crea una superficie en forma de anillo circular: un toro.

Quando a geratriz é um círculo, e quando o eixo de rotação está no plano desse círculo, ou mesmo tangencial a ele ou fora dele, gera-se uma superfície toroidal.

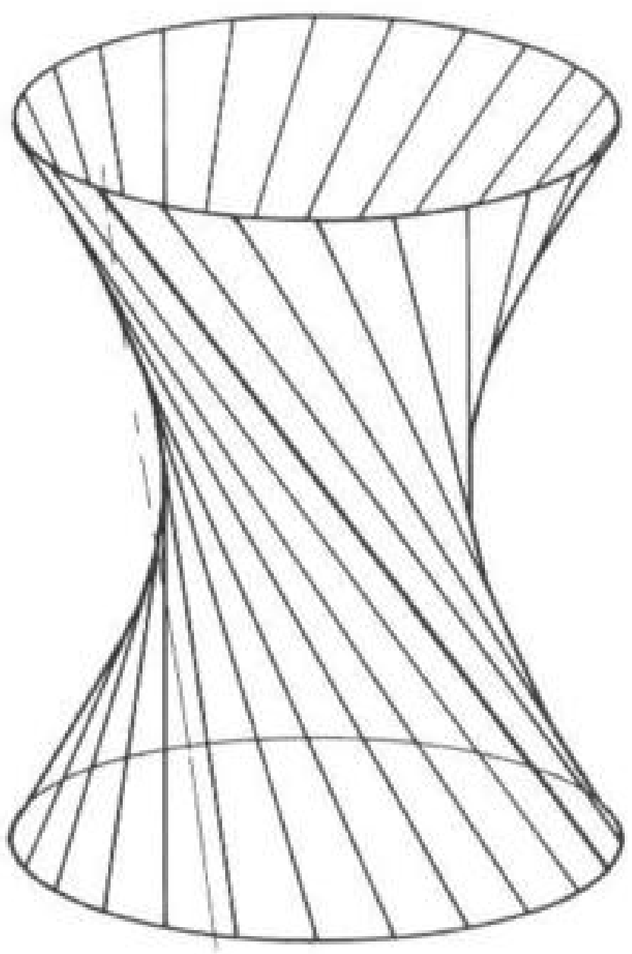


toro

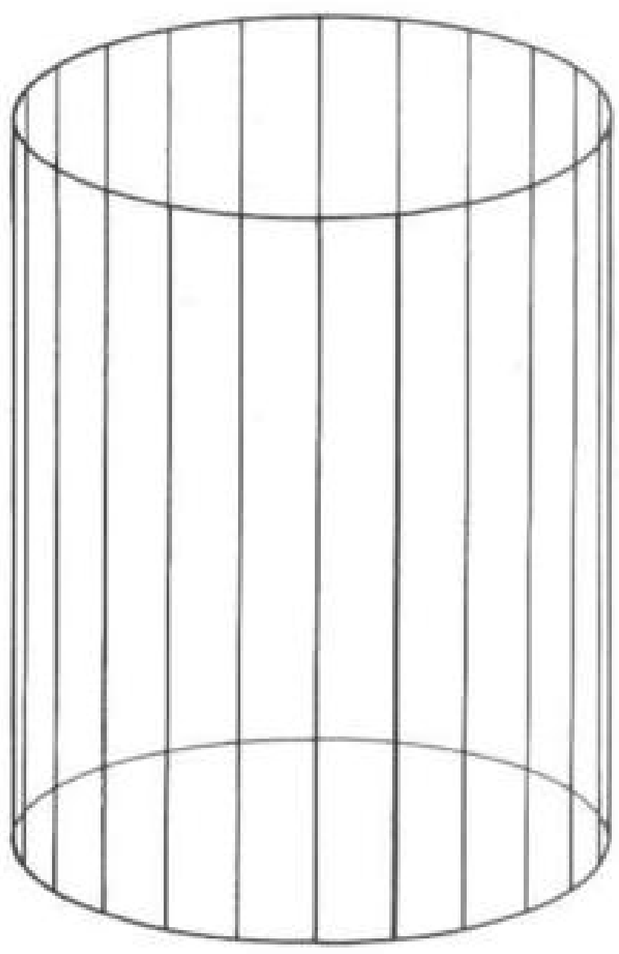
toro



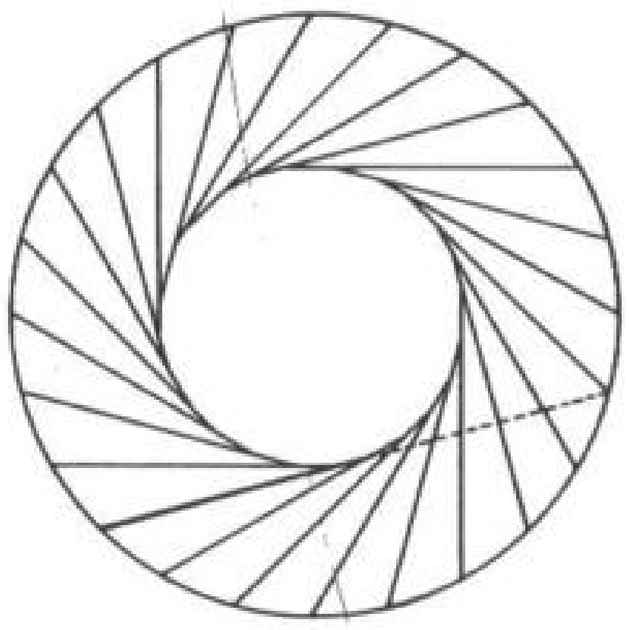
conos invertidos



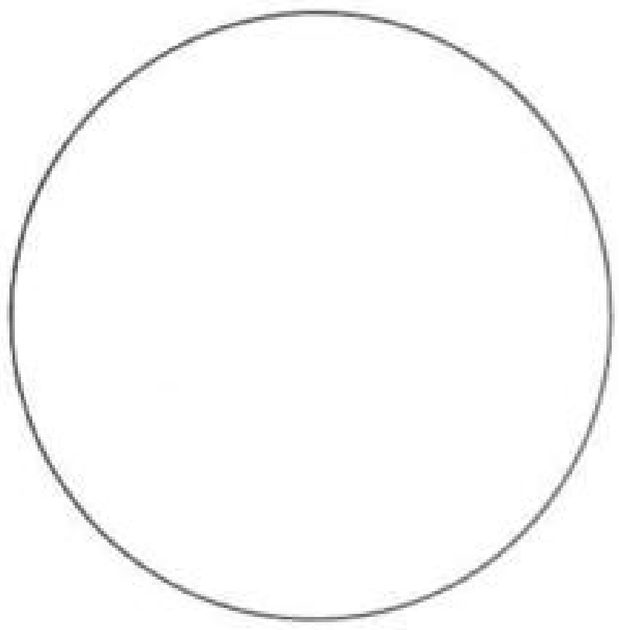
conos invertidos



hiperboloide



hiperboloide



cilindro circular

cilindro circular

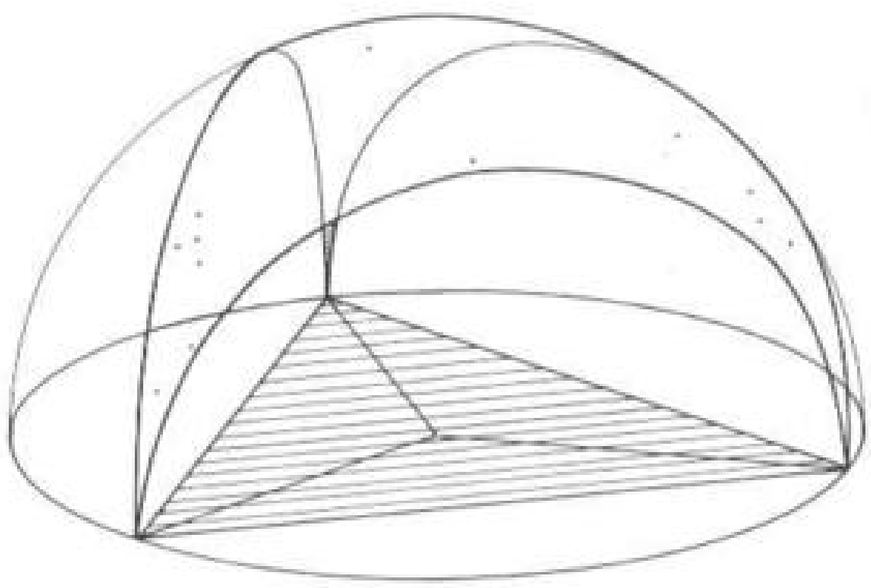
Si la generatriz es una recta se crean, según cual sea su posición en el espacio respecto al eje de revolución, las superficies típicas: cono, hiperboloide y cilindro.

Quando a geratriz for uma linha reta, dependendo de sua posição no espaço com relação ao eixo de rotação, surgirão superfícies típicas de cone, de hiperbolóide ou de cilindro.

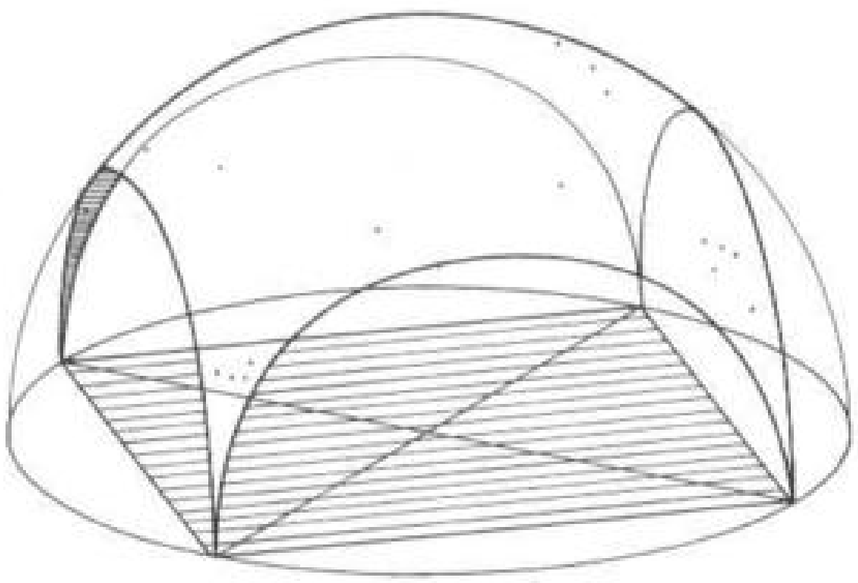
# 7 Geometria
# Forma estrutural

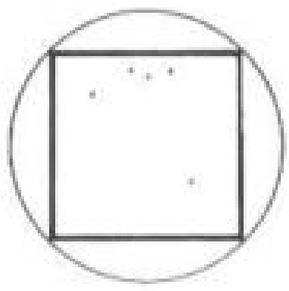


## Superficies semiesféricas para geometrías de aristas rectas en planta
## Superfícies semi-hemisféricas para plantas de geometria retilínea

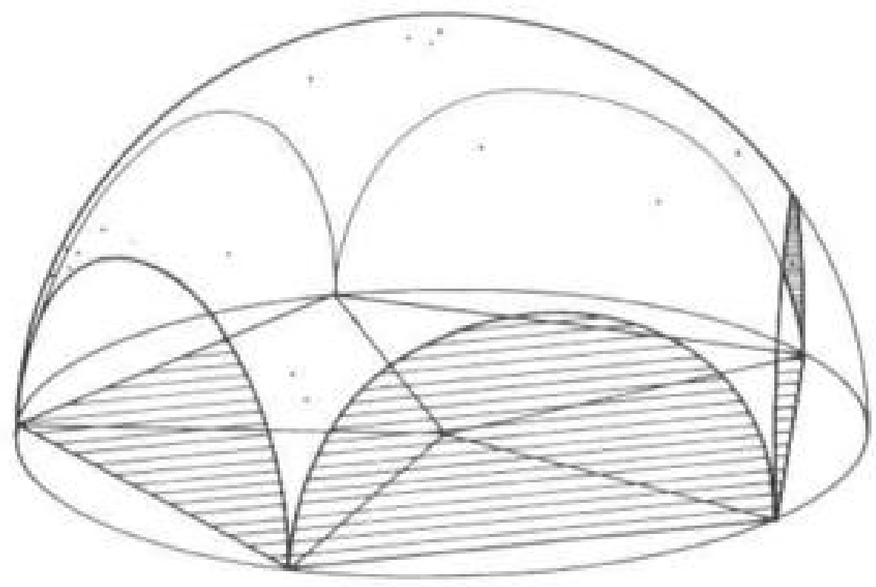


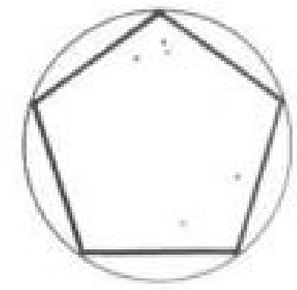
planta triangular
*planta triangular*



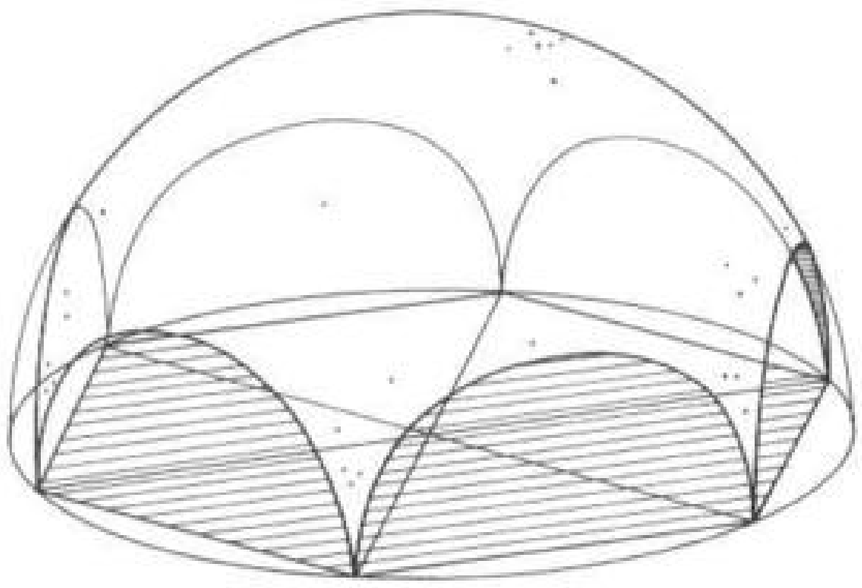


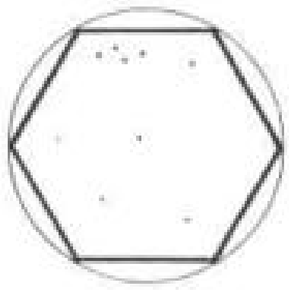
planta cuadrada
*planta quadrada*



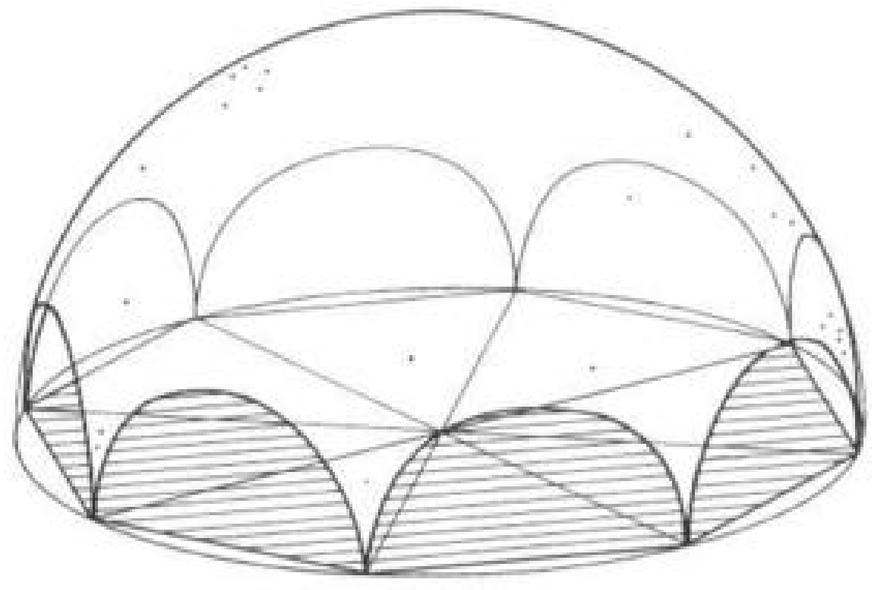


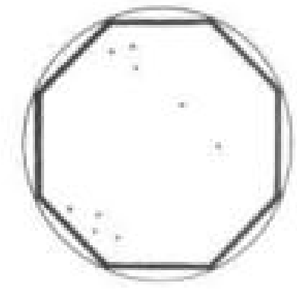
planta pentagonal
*planta pentagonal*





planta hexagonal
*planta hexagonal*

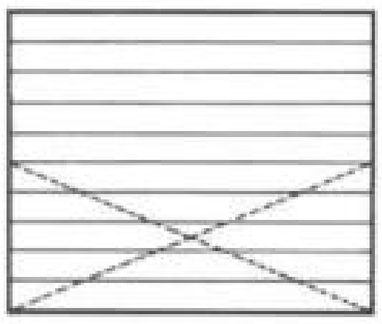




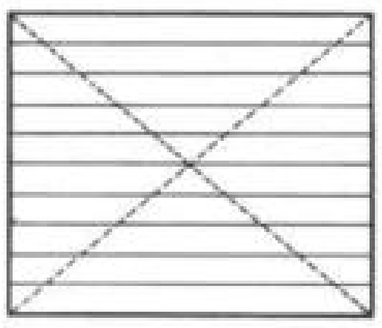
planta octogonal
*planta octogonal*

## Generación de superficies en forma de silla de montar a partir de líneas rectas: superficies regladas anticlásticas

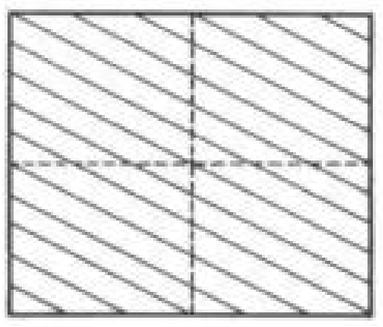
## Geração de superficies em sela com linhas retas: superficies reguladas anticlásticas



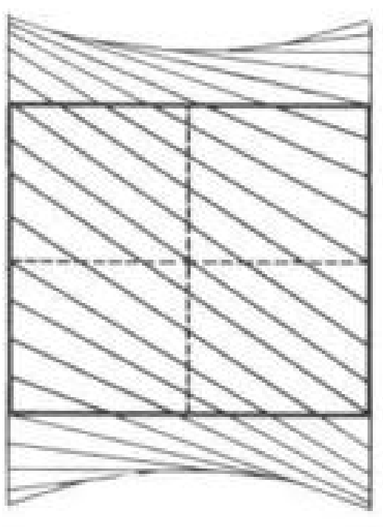
conoide / conóide



paraboloide hiperbólico
paraboloide hiperbólico "hp"



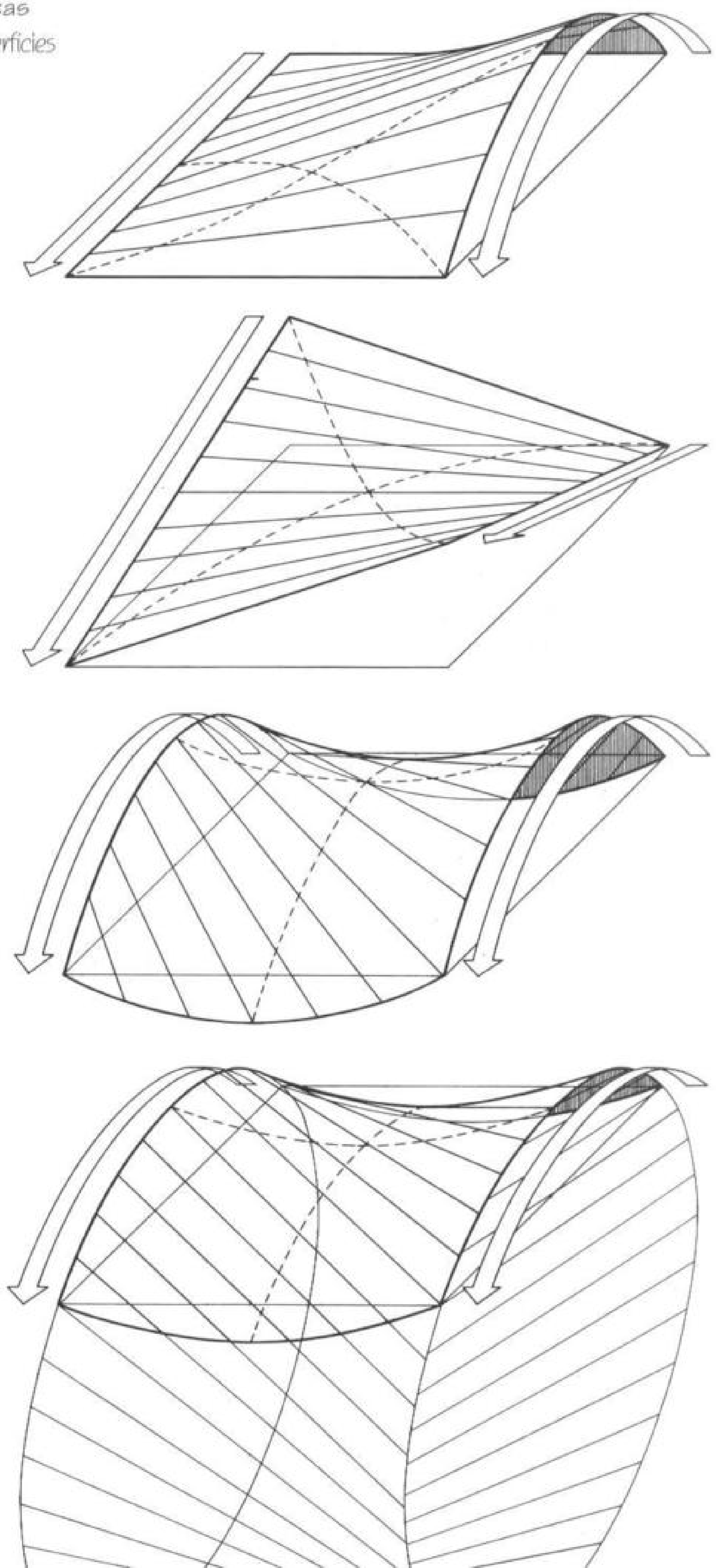
paraboloide hiperbólico
paraboloide hiperbólico "hp"



hiperboloide / hiperboloide

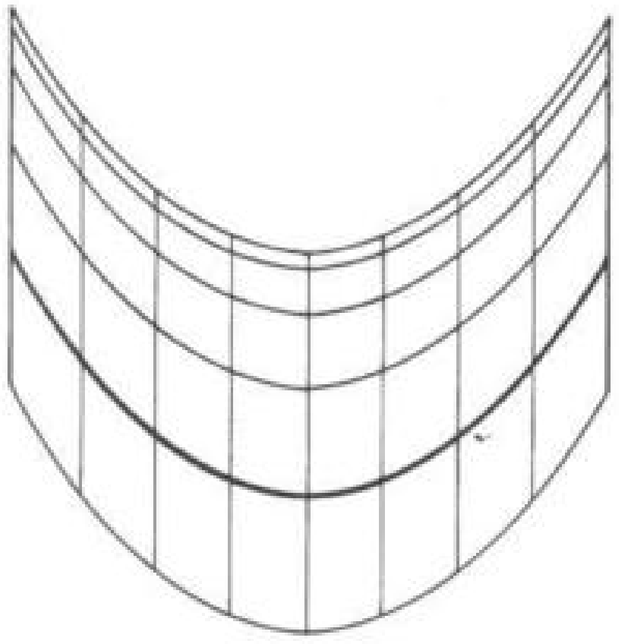
Una superficie reglada se genera desplazando una línea recta (generatriz) a lo largo de dos curvas fijas (directrices).

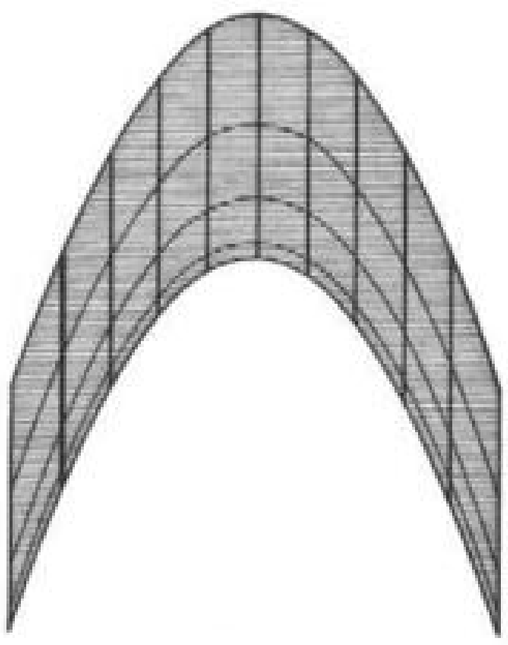
Uma superfície regulada é originada pelo movimento de uma linha reta (geratriz) em torno de duas curvas fixas ou linhas retas (diretrizes).

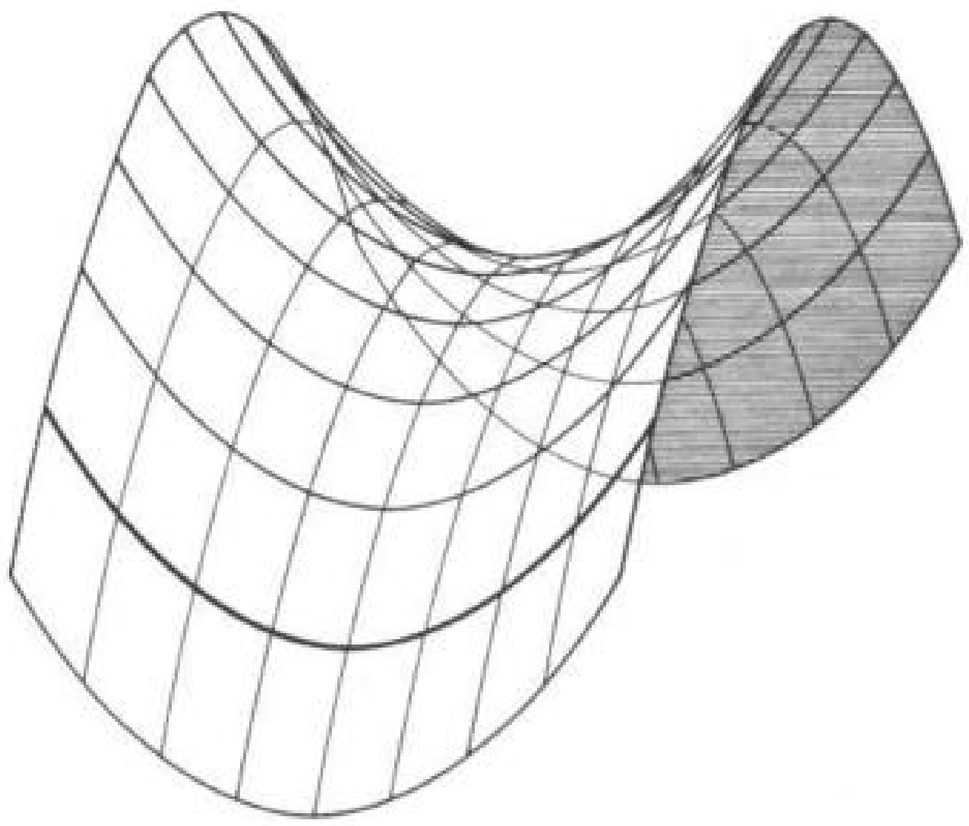


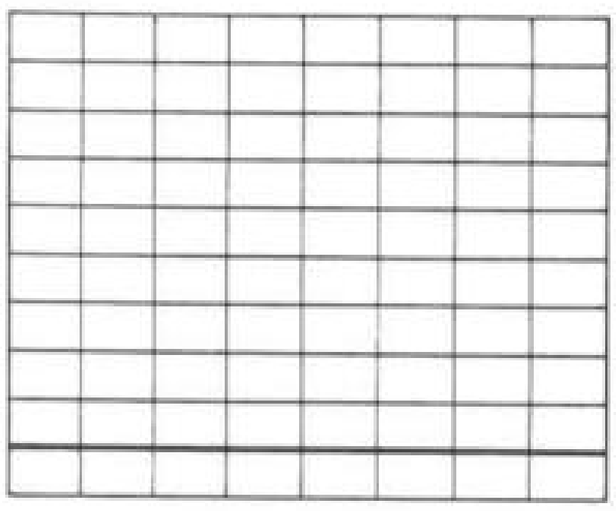
Generación de superficies en forma de paraboloides hiperbólicos

Geração de "superfícies hp" (paraboloide hiperbólico)



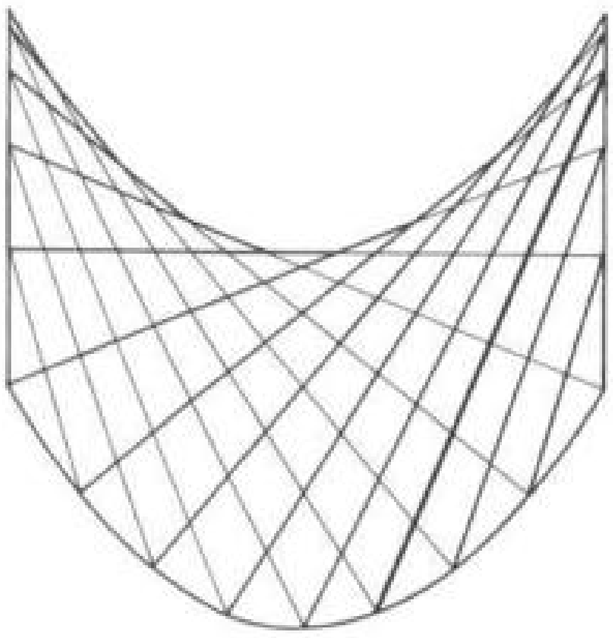


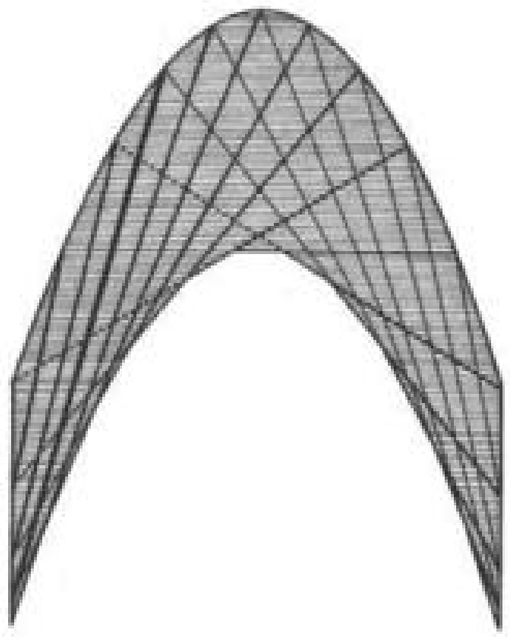


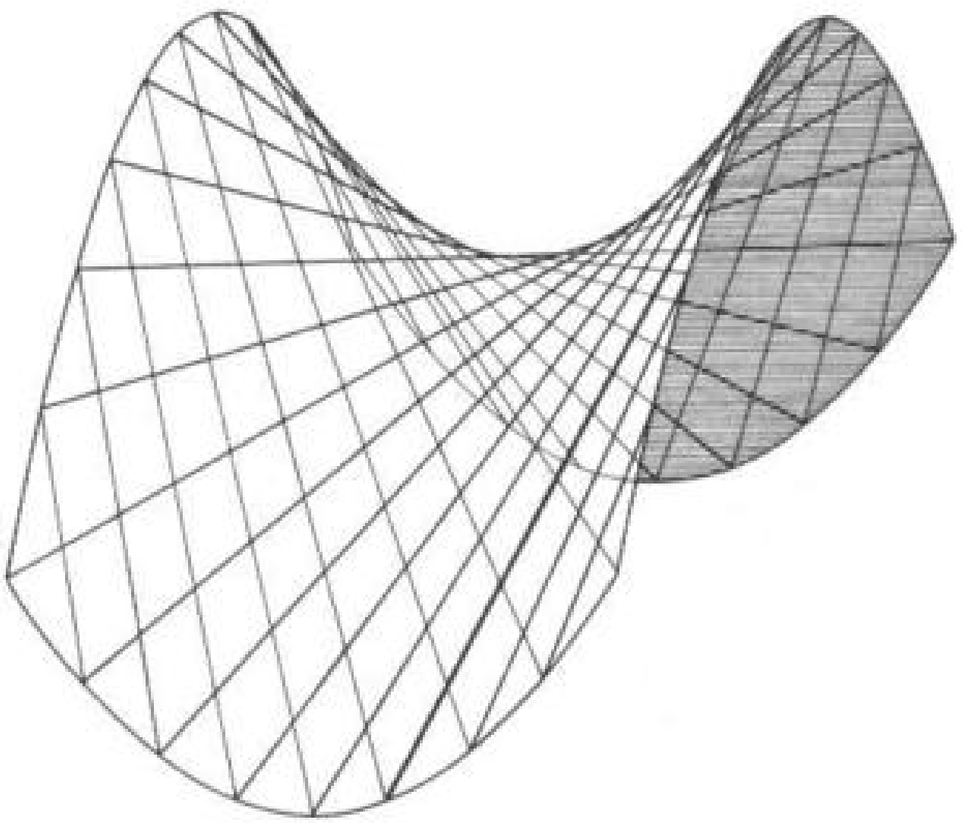


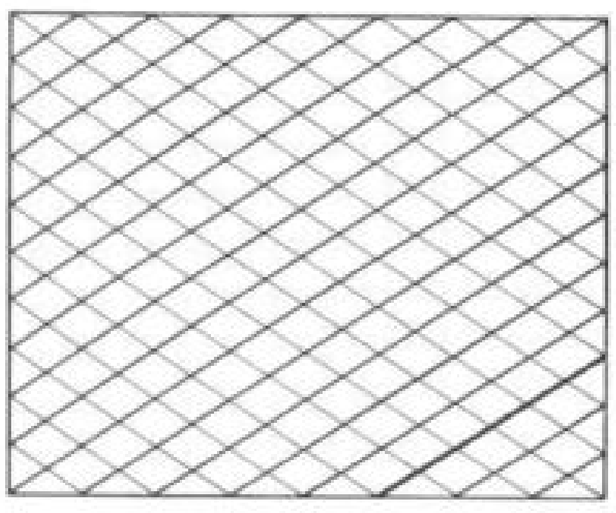
Generación como superficie de traslación: se desplaza una parábola suspendida (generatriz) a lo largo de una parábola vertical (directriz), o a la inversa.

Geração como superfície de translação: a parábola suspensa (geratriz) desliza ao longo da parábola perpendicular (diretriz), ou inversamente.





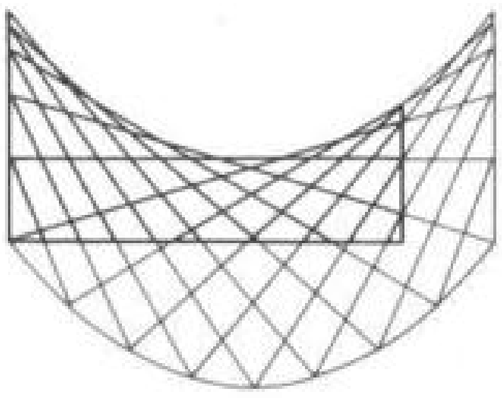


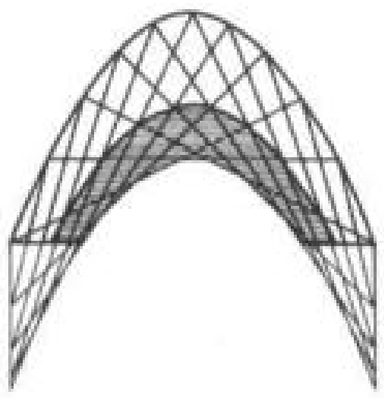


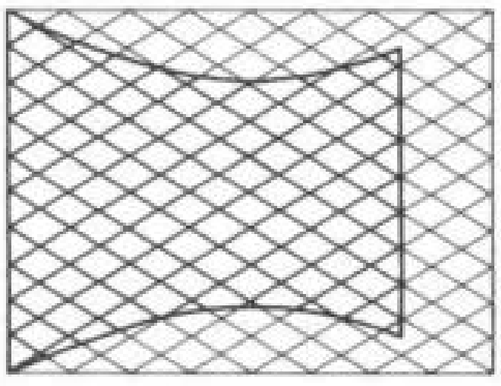
Generación como superficie reglada: la generatriz recta se desplaza a lo largo de dos parábolas o de dos rectas que no se encuentren en el mismo plano (directrices).

Geração como superfície regulada: a linha reta (geratriz) desliza sobre duas parábolas ou sobre duas linhas retas (diretrizes) que não estão em mesmo plano.

## Curvas de sección de los paraboloides hiperbólicos

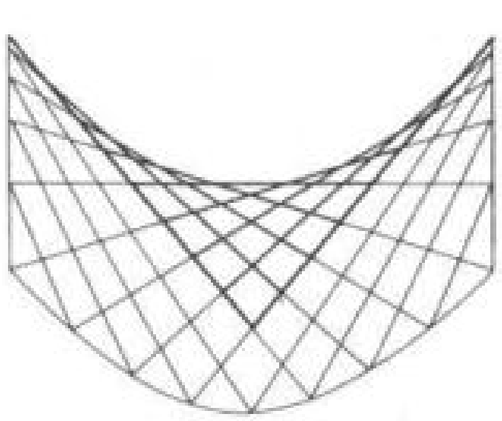


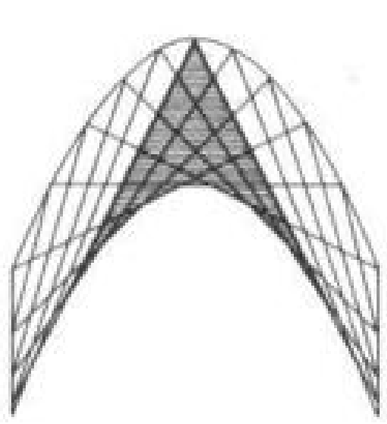


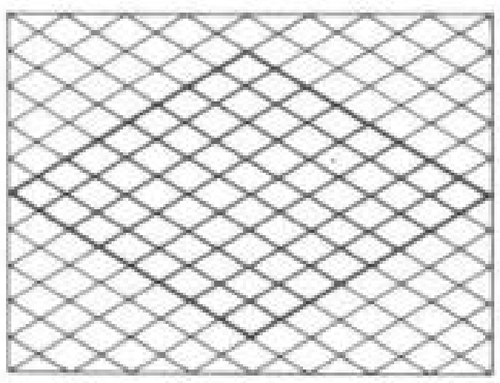


De las secciones verticales resultan parábolas, de las secciones horizontales se obtienen hipérbolas

Seções verticais produzem parábolas, seções horizontais produzem hipérboles

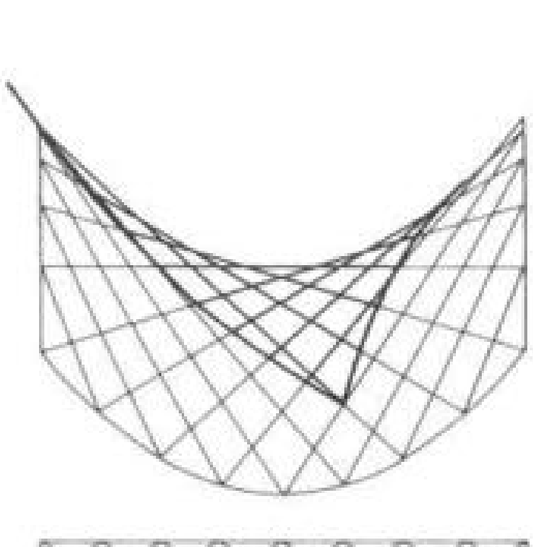


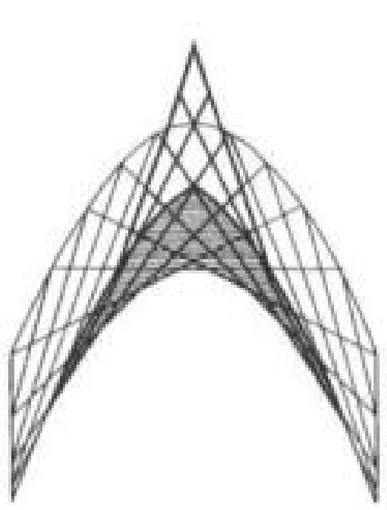


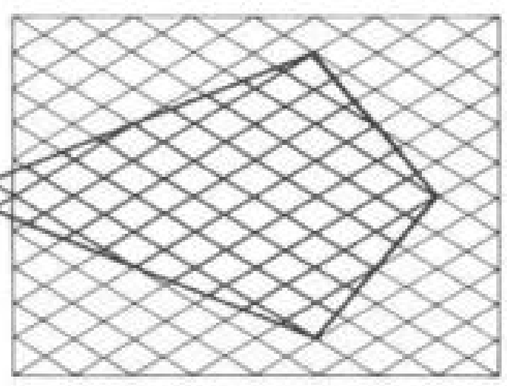


De las secciones verticales paralelas a la generatriz (interpretación como superficie reglada) se obtienen líneas rectas

Seções verticais paralelas à geratriz (interpretação como superfície regulada) produzem linhas retas



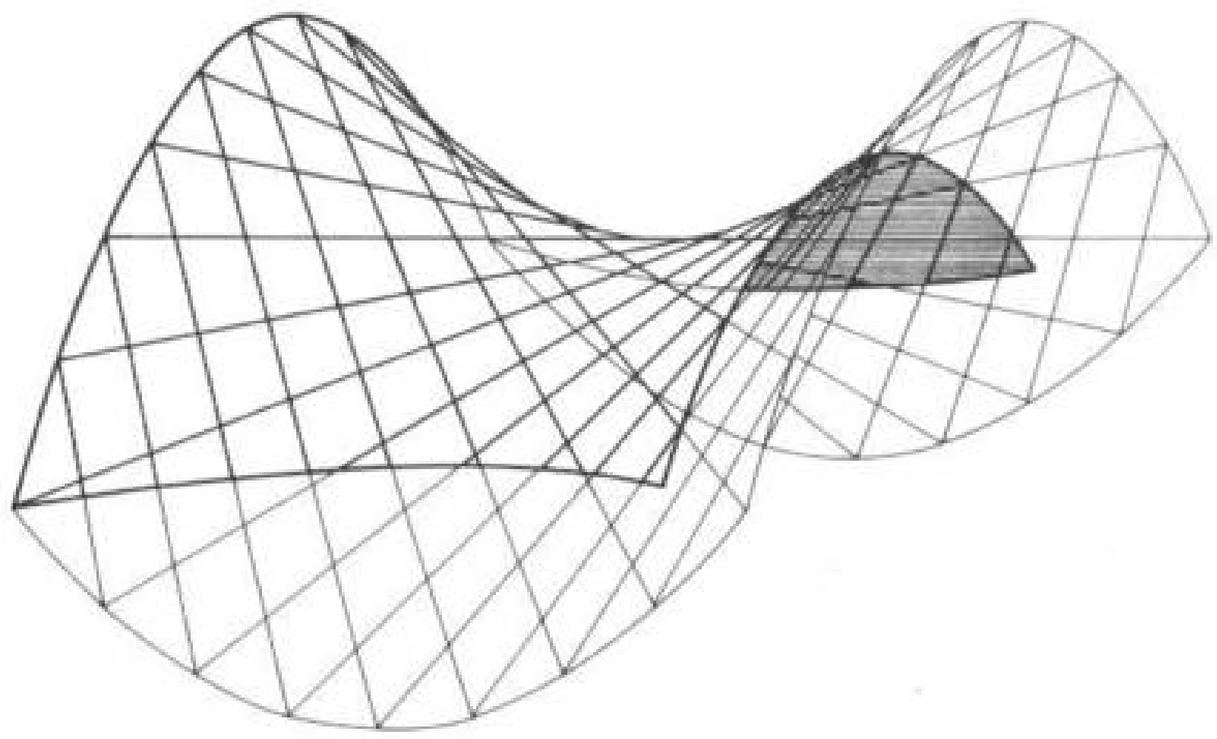


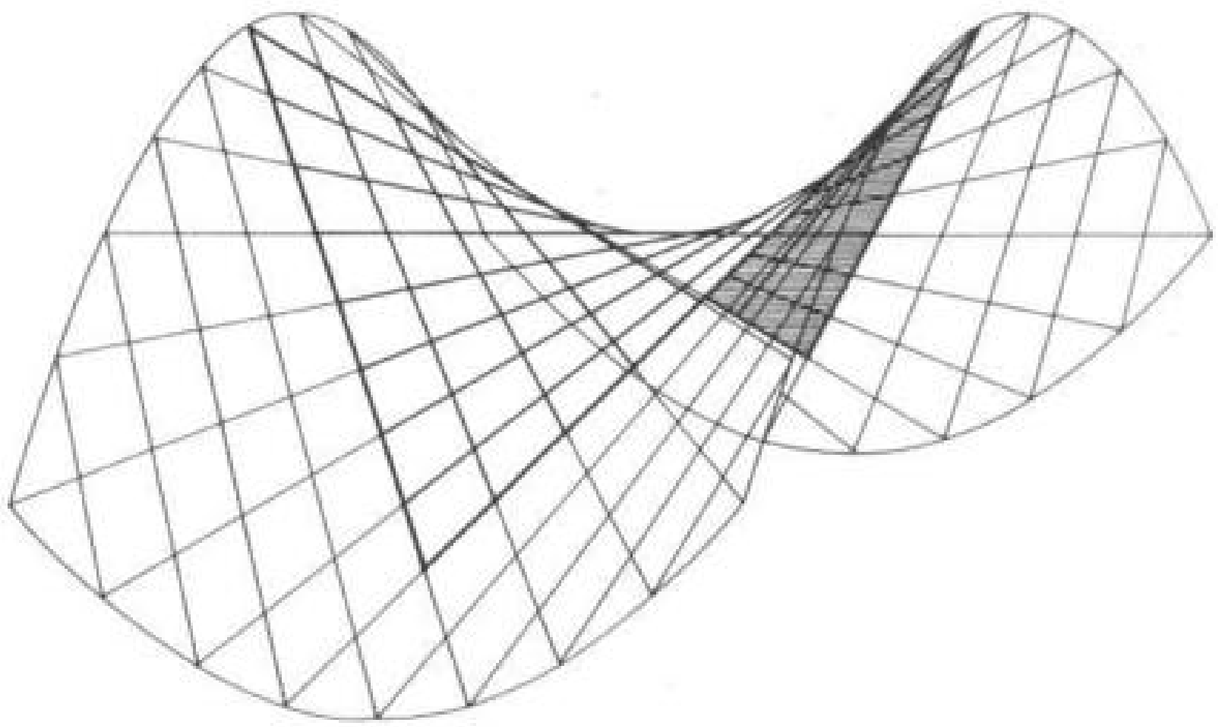


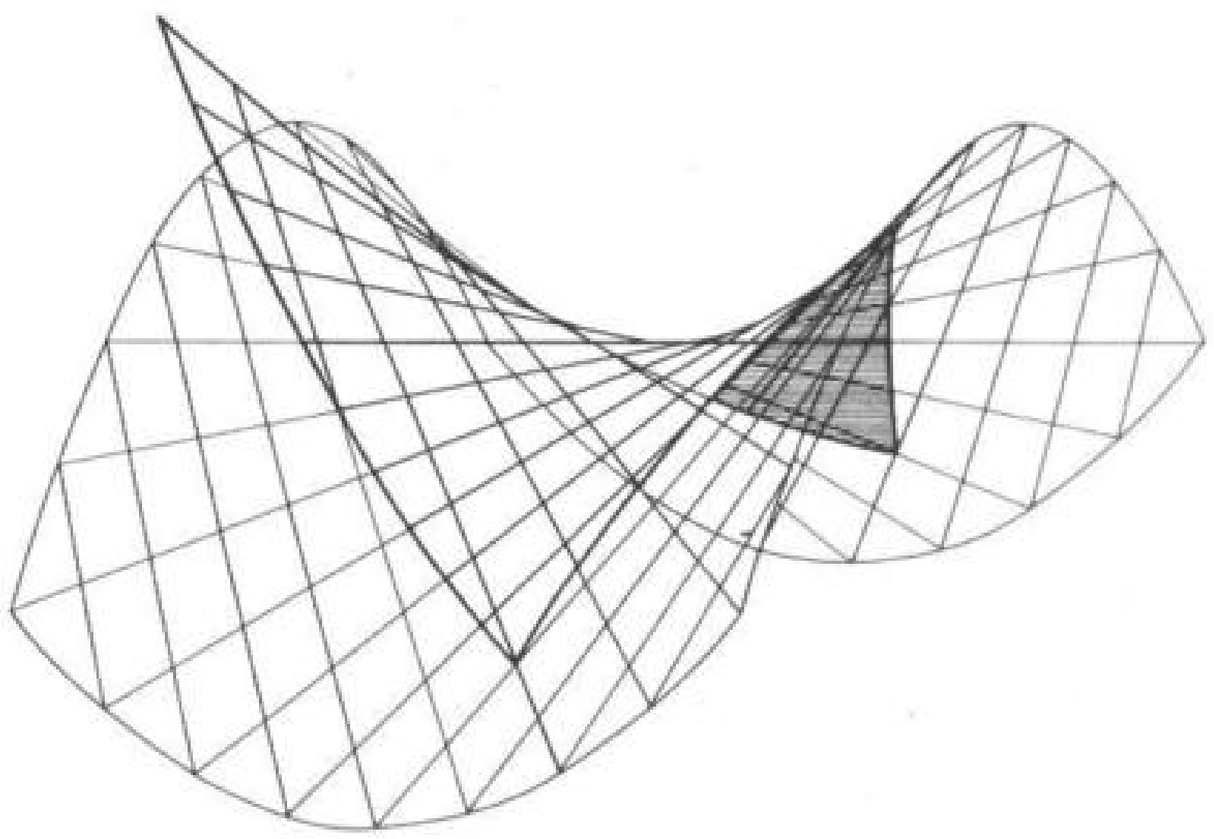
De las secciones verticalee en ángulo respecto a la generatriz se obtienen parábolas cóncavas y/o convexas

Seções verticais inclinadas com relação à geratriz produzem parábolas convexas e/ou côncavas

## Curvas seccionais de superfícies "hp" (parabolóide hiperbólico)

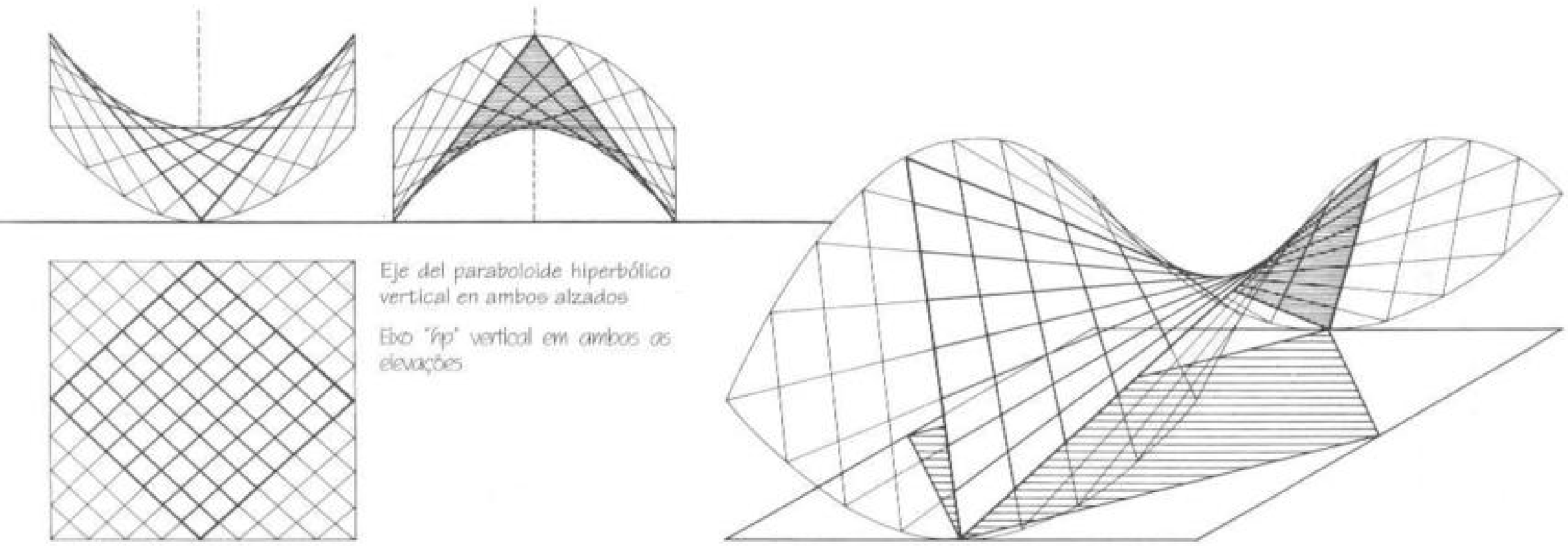






Influencia de la posición en el espacio del eje del paraboloide hiperbólico sobre la forma de la superficie y la planta

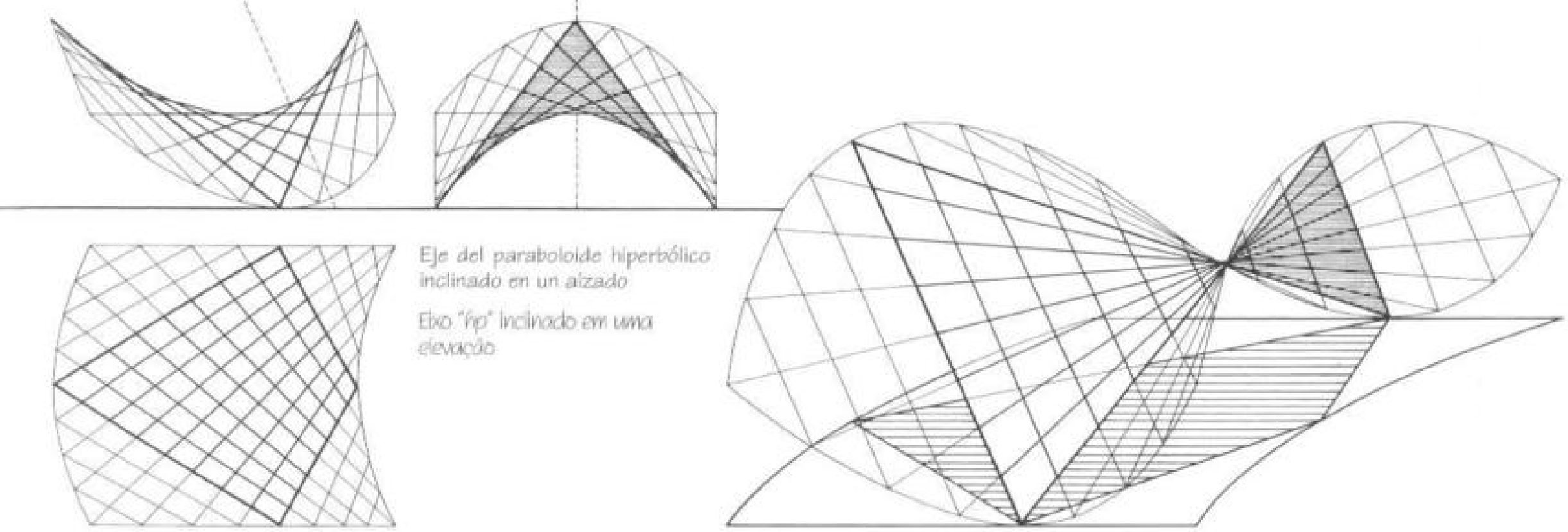
Influência da posição do eixo "hp" no espaço sobre a forma da superfície e da planta





Eje del paraboloide hiperbólico vertical en ambos alzados

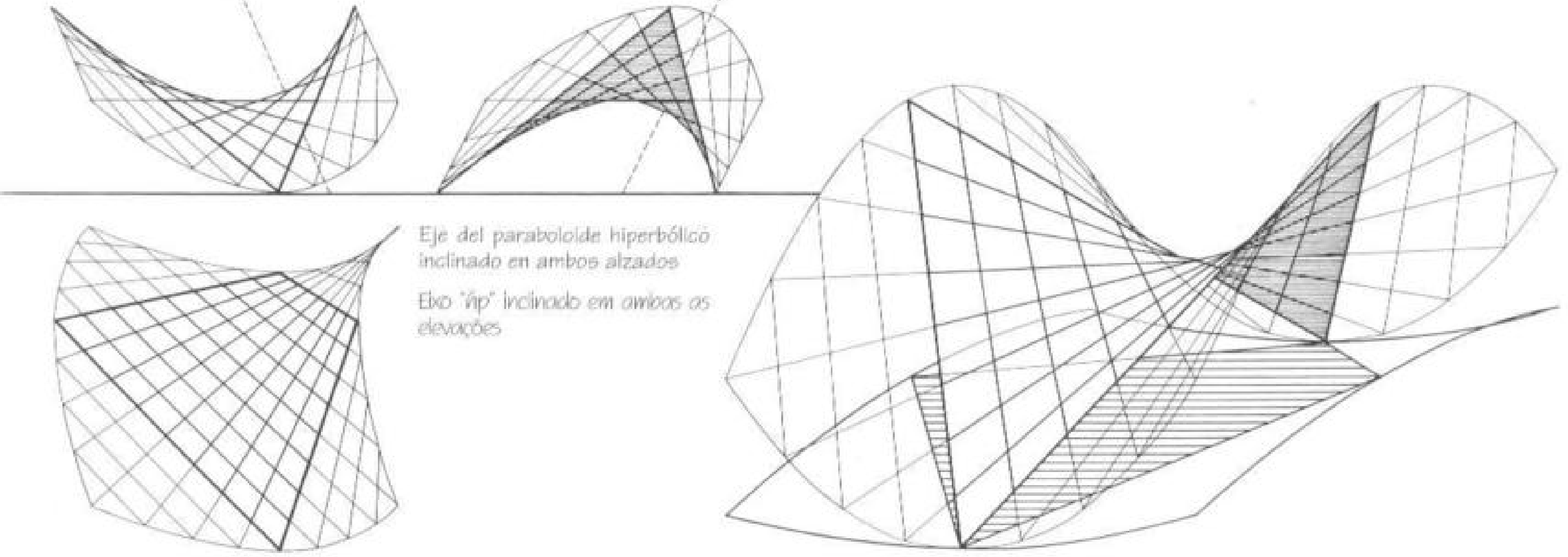
Eixo "hp" vertical em ambos as elevações





Eje del paraboloide hiperbólico inclinado en un alzado

Eixo "hp" inclinado em uma elevação



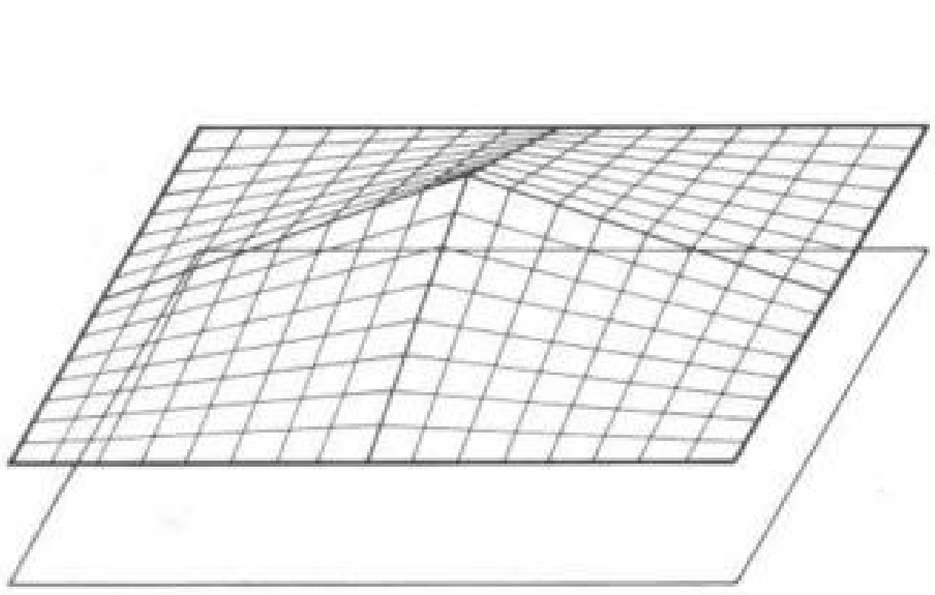


Eje del paraboloide hiperbólico inclinado en ambos alzados

Eixo "hp" inclinado em ambos as elevações

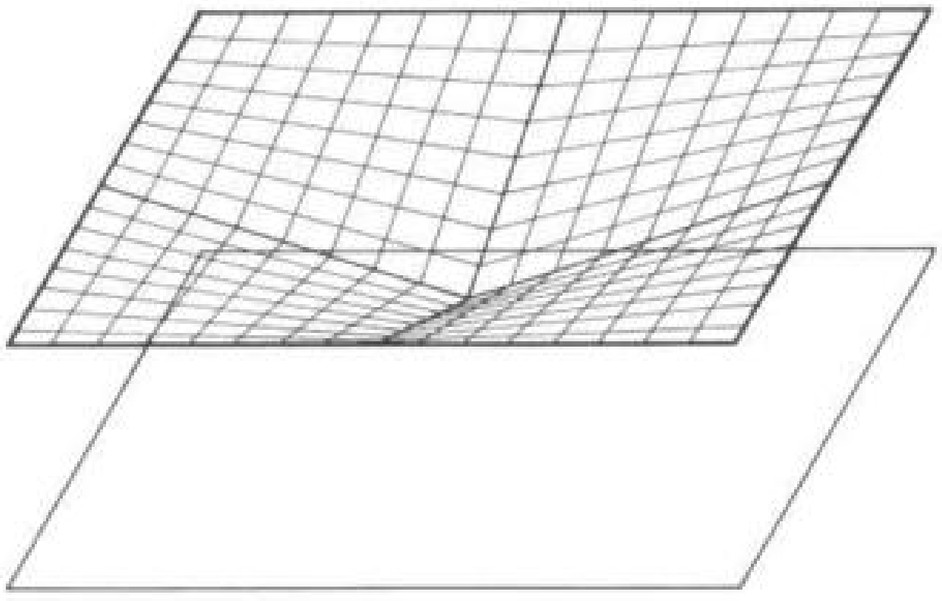
Composiciones con 4 paraboloides hiperbólicos sobre una planta cuadrada

Composições de 4 superfícies "hp" sobre planta quadrada



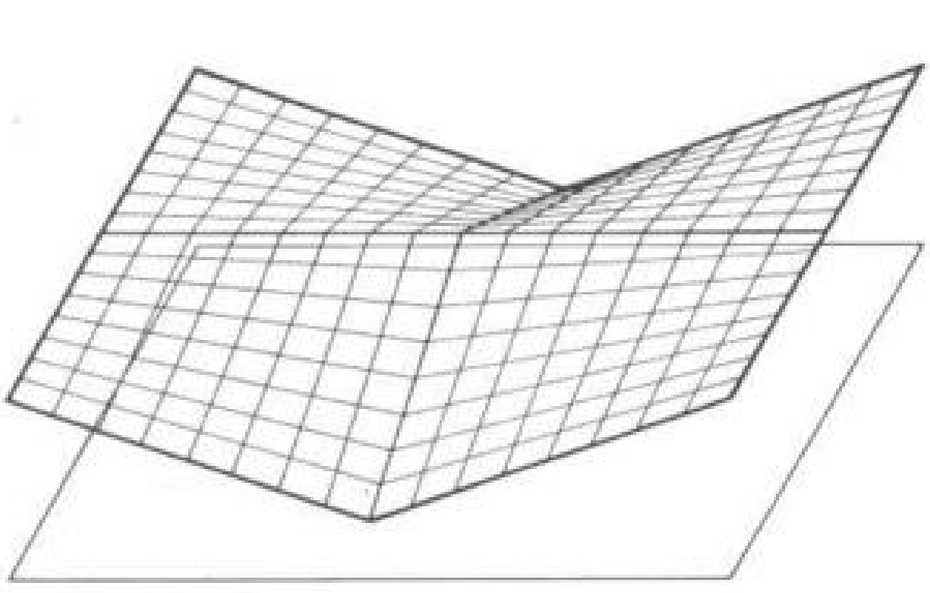
los cuatro lados a la misma altura

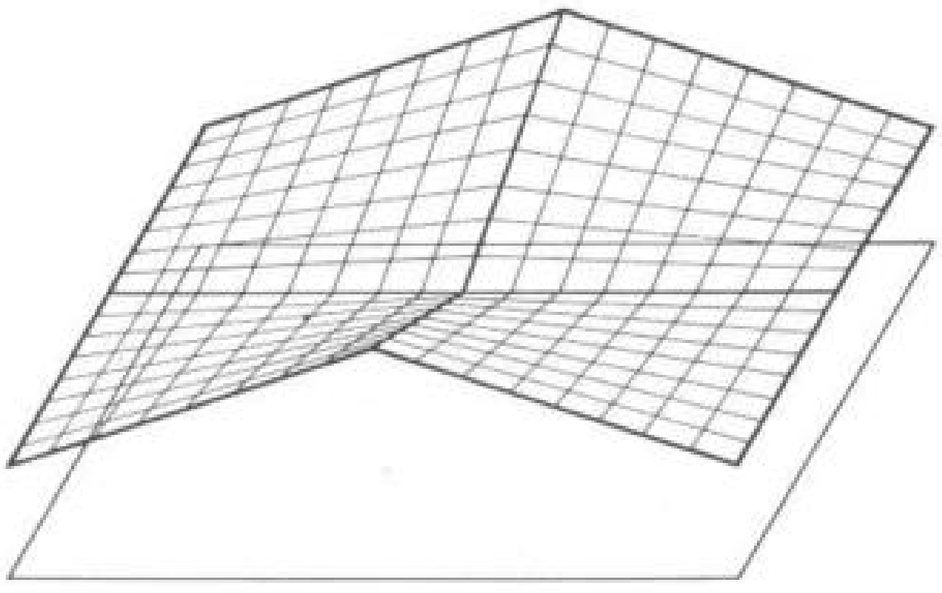
todas as 4 bordas em nível



2 lados y 2 pliegues a la misma altura

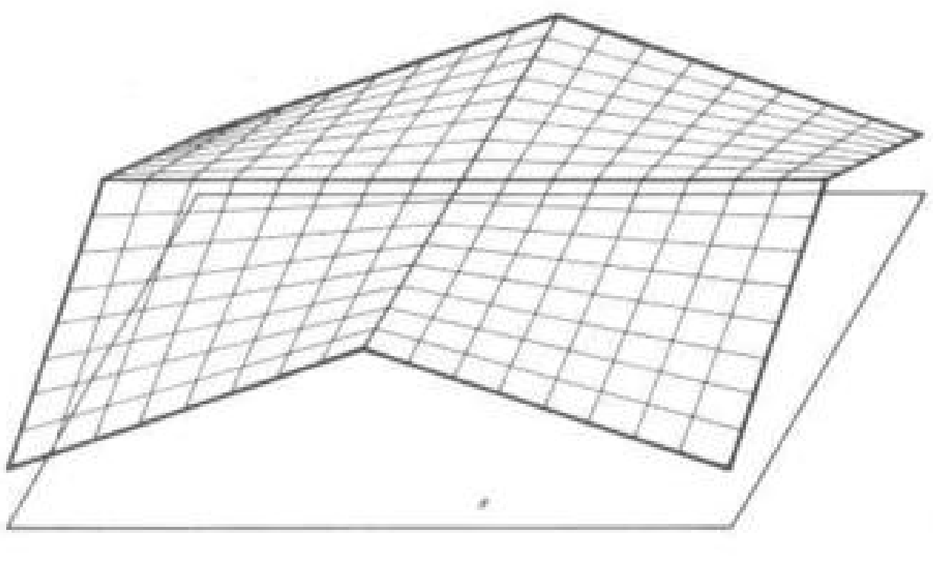
2 bordas, 2 dobras em nível

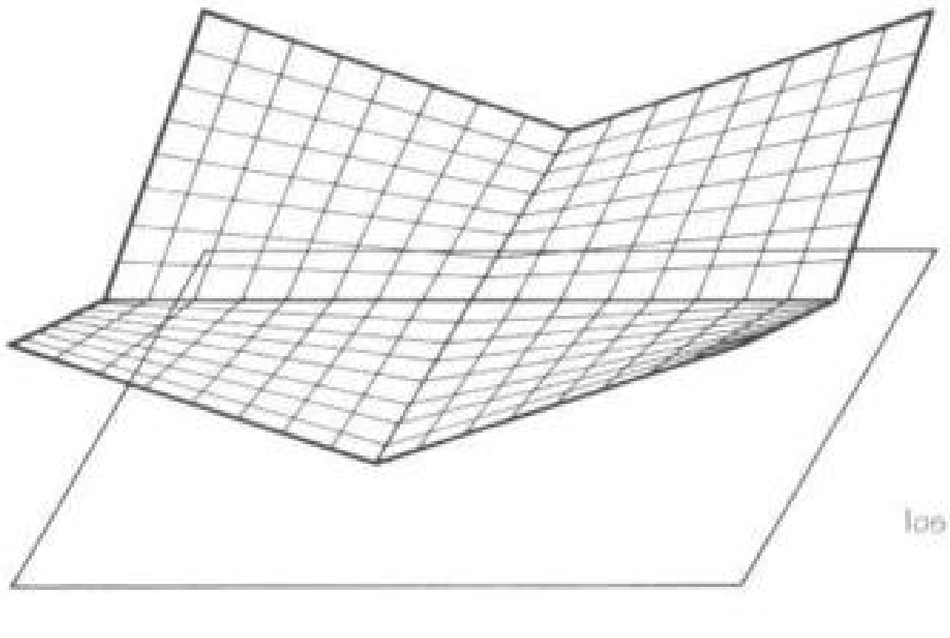




los 4 pliegues a la misma altura

todas as 4 dobras em nível





todos los lados y todos los pliegues inclinados

todas as bordas e dobras inclinados